

**Die Variation bestimmter technologischer
Merkmale des Sägerestholzes
und Schlußfolgerungen bezüglich deren
verarbeitungsorientiertem Wert**

- dargestellt an Hackschnitzeln der Baumart Fichte
bei der Herstellung von TMP und Zellstoff -

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität
zu Freiburg im Breisgau

vorgelegt von
Heinrich Behler
aus Niesen Krs. Höxter

1980

**Die Variation bestimmter technologischer
Merkmale des Sägerestholzes
und Schlußfolgerungen bezüglich deren
verarbeitungsorientiertem Wert**

- dargestellt an Hackschnitzeln der Baumart Fichte
bei der Herstellung von TMP und Zellstoff -

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität
zu Freiburg im Breisgau

vorgelegt von
Heinrich Behler
aus Niesen Krs. Höxter

1980

Dekan: Prof. Dr. R. Grammel

Leiter der Arbeit: Prof. Dr. R. Grammel

Referent: Prof. Dr. R. Grammel

Korreferent: Prof. Dr. A. Schreiber



V o r w o r t

Die vorliegende Arbeit entstand in den Jahren 1976 bis 1980 am Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Universität Freiburg i. Br.

Danken möchte ich zunächst Herrn Prof. Dr. R. GRAMMEL, der die Untersuchungen anregte, sie mit stetem Interesse förderte und mir bei der Durchführung viel Selbstständigkeit gewährte. Herrn Prof. Dr. A. SCHREIBER sei für die freundliche Übernahme des Korreferates gedankt. Mein Dank gilt ebenfalls meinem Kollegen, Herrn Dr. G. BECKER und Frau Diplom-Forstwirtin B. NALBACH für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Ferner möchte ich den Herren G. BAHR und W. GERTEISEN und G. HUMMEL, die die Bewältigung des umfangreichen Versuchsprogramms ermöglichten, danken. Frau Diplom-Mathematikerin T. AUSTERMANN und Frau M. SCHEUFFENS sei für die statistische Aufbereitung und Auswertung des Zahlenmaterials gedankt. Mein Dank gilt ebenfalls den Herren C. v. FÜRSTENBERG und G. DIETERLE für die Anfertigung der Graphiken und Übersichten, den Herren F. LEHMANN und E. FRANZ vom Institut für Forstbotanik für die Herstellung der Fotos sowie den Damen G. LASUTKIN, M. WAGNER und I. KLEMM für die Erstellung des Manuskripts.

Die Untersuchung wäre nicht durchführbar gewesen, ohne das Entgegenkommen der an ihr beteiligten Sägewerksbetriebe, die die Erhebung des Materials ermöglichten, dabei zeitweilige Störungen des Betriebsablaufs in Kauf nahmen und durch ihre Auskunftsbereitschaft die Datenerfassung unterstützten. Auch

Ihnen sei herzlich gedankt. Mein Dank gilt ebenfalls der Geschäftsführung der HAINDL Papier GmbH, und hier vor allem meinem Freund Herrn Dr. B. Keller, für die Überlassung von Daten aus der Betriebsstatistik und für die Informationen über die Anforderungen der TMP-Technik an den Rohstoff.

Ferner möchte ich den Herren Dr. M. WELTE, Dr. J. KRUSE und Diplom-Holzwirt H. BURGHART von der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft für die Überlassung der im Rahmen ihrer Untersuchungen erzielten Ergebnisse danken.

INHALTSANGABEN

	Seite
1. EINLEITUNG	1
2. PROBLEMSTELLUNG	11
2.1 Analyse der Problemstellung	11
2.2 Abgrenzung der Problemstellung und methodisches Vorgehen	14
2.2.1 Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes	14
2.2.2 Materialfluß im Sägewerk und Auswahl der zu untersuchenden Verarbeitungstechno- logien	17
2.2.3 Auswahl des für die Untersuchung geeigneten Restholz-Verarbeiters	21
2.3 Konkrete Problemstellung und Zielsetzung	25
2.4 Methodisches Vorgehen	26
3. HERLEITUNG DER FÜR DIE ZELLSTOFF UND HOLZ- SCHLIFFHERSTELLUNG WERTRELEVANTEN EIGENSCHAFTEN VON HACKSCHNITZELN	29
3.1 Ansprüche der Zellstoff- und Papierindustrie	29
3.2 Form der Hackschnitzel	29
3.2.1 Abmessung der Hackschnitzel	29
3.2.2 Mechanische Faserschädigungen	35
3.2.3 Einflüsse auf die Form der Hackschnitzel	36
3.2.3.1 Einschnitts- und Hacktechnik	36
3.2.3.1.1 Trommelhacker	37
3.2.3.1.2 Scheibenhacker	40
3.2.3.1.3 Profilspaner	41
3.2.3.2 Hackereinstellung und Handhabung	44
3.2.3.3 Beschaffenheit des Hackgutes	49
3.2.4 Zusammenfassung	51

	Seite
3.3 Zustand der Hackschnitzel	53
3.3.1 Besondere anatomische Eigenschaften von Sägerestholz	53
3.3.2 Die Feuchtigkeit als Qualitätseigenschaft der Hackschnitzel	54
3.3.2.1 Bedeutung der Hackschnitzelfeuchtigkeit für die Zellstoff- und Papierindustrie	54
3.3.2.2 Einflüsse auf die Feuchtigkeit des Hackschnitzelgutes	55
3.3.3 Pilzliche Schädigungen der Hackschnitzel	56
3.3.3.1 Bedeutung der pilzlichen Schädigung des Hackschnitzelgutes	56
3.3.3.2 Einflüsse für die pilzliche Schädigung der Hackschnitzel	57
3.3.4 Verunreinigungen der Hackschnitzel	59
3.3.4.1 Arten der Verunreinigung	59
3.3.4.1.1 Rindenanteil	60
3.3.4.1.2 Verfärbungen	61
3.3.4.1.3 sonstige Verunreinigungen	62
3.3.4.2 Ursachen für die Verunreinigung des Hackschnitzelgutes	63
3.3.5 Zusammenfassung	64
3.4 Übersicht der zu untersuchenden Hackschnitzeleigenschaften und ihre Abhängigkeit	66
4. BESTIMMUNG DER HACKSCHNITZELEIGENSCHAFTEN UND DER SIE BEEINFLUSSENDE FAKTOREN	68
4.1 Versuchsmethodik	68
4.1.1 Auswahl der Betriebe	68
4.1.2 Rundholzeigenschaften	71
4.1.3 Bereitstellungsmodalitäten	73
4.1.4 Einschnitts- und Hackmodalitäten	74
4.1.5 Auswertungsmethodik	76
4.1.5.1 Bestimmung der Feuchtigkeit	76

	Seite
4.1.5.2 Bestimmung des Rindenanteils	77
4.1.5.3 Bestimmung des Weißgrads	78
4.1.5.4 Bestimmung der Fraktionsverteilung	79
4.1.5.5 Ermittlung des Probeumfangs	87
4.2 Versuchsbeschreibung	89
4.2.1 Erhebungen im Sägewerk	90
4.2.2 Laboruntersuchungen	92
4.3 Versuchsergebnisse	96
4.3.1 Statistische Auswertung der Versuchsergebnisse	96
4.3.2 Wassergehalt	104
4.3.2.1 Zussammenhänge zwischen Wassergehalt und Rundholzeigenschaften	106
4.3.2.2 Zusammenhänge zwischen Wassergehalt und Bereitstellungsmodalitäten	108
4.3.2.3 Einflüsse der Einschnittsmodalitäten auf den Wassergehalt	117
4.3.2.4 Zusammenfassung	118
4.3.3 Rindenanteil	119
4.3.3.1 Einflüsse der Rundholzeigenschaften auf den Rindenanteil	124
4.3.3.2 Einflüsse der Bereitstellungsmodalitäten auf den Rindenanteil	130
4.3.3.3 Einflüsse der Einschnittsmodalitäten auf den Rindenanteil	134
4.3.3.4 Zusammenfassung	135
4.3.4 Weißgrad	137
4.3.4.1 Einflüsse der Zusammensetzung des Restholzes auf den Weißgrad	140
4.3.4.2 Einflüsse der Bereitstellungsmodalitäten auf den Weißgrad	148
4.3.4.3 Bedeutung des Restholzsortiments für den Weißgrad	151
4.3.4.4 Zusammenfassung	152

	Seite
4.3.5 Fraktionsverteilung und Faserschädigungen	154
4.3.5.1 Zusammenhänge zwischen Fraktionsverteilung und Holzeigenschaften	159
4.3.5.2 Einflüsse der Einschnittsmodalitäten auf die Fraktionsverteilung	170
4.3.5.3 Faserschädigungen	181
4.3.5.4 Zusammenfassung	183
4.4 Ergebnisse	185
5. EINFLÜSSE DER HACKSCHNITZEIGENSCHAFTEN AUF DIE QUALITÄT DES THERMOMECHANISCHEN SCHLIFFS (TMP) UND DES ZELLSTOFFS	190
5.1 Qualitätsmerkmale des thermomechanischen Schlicfs (TMP) in Abhängigkeit von den Hackschnitzeigenschaften	190
5.1.1 Zusammensetzung des TMP	191
5.1.2 Festigkeitseigenschaften des TMP	193
5.1.3 Weißgrad des TMP	194
5.2 Einflüsse der Hackschnitzeigenschaften auf die Zellstoffqualitäten	197
5.3 Zusammenfassung	200
6. AUSWIRKUNGEN DER HACKSCHNITZZELLAGERUNG AUF DIE QUALITÄT DER HACKSCHNITZEL UND DES DARAUS ERZEUGTEN THERMOMECHANISCHEN SCHLIFFS	202
6.1 Methodisches Vorgehen	202
6.2 Versuchsdurchführung	203
6.3 Diskussion der Versuchsergebnisse	204
6.4 Zusammenfassung	210
7. ABSCHLIESSENDE BETRACHTUNG	213

	Seite
8. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	218
9. LITERATURVERZEICHNIS	220
10. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	234
11. TABELLENVERZEICHNIS	237
12. ANHANG	240

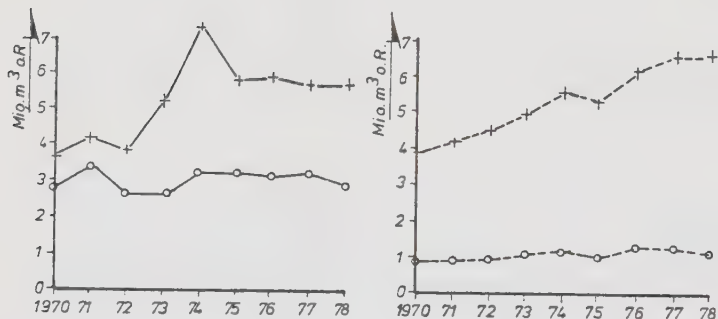
1. EINLEITUNG

Neben dem Stammholzmarkt stellt der Markt für Industrieholz den zweiten großen Holzteilmarkt dar. Definition und Abgrenzung sind sehr unscharf, wie auch keine allgemeingültigen Grenzen festgelegt werden können. Das "Industrie-Holz" wird historisch durch seine Verwendung in der Holzverarbeitenden Großindustrie definiert, während die Verarbeiter des Stammholzes, vor allem die Sägeindustrie, als Handwerksbetriebe angesehen wurden.

Zum Industrieholz gehören all die Sortimente, die eine geringere Dimension und (oder) Qualität als das Stammholz aufweisen. Das Industrieholz besteht aus den beiden großen Komponenten "Wald-Industrieholz" und "Industrierestholz". Verwendung findet das Industrieholz in der Holzschliff-, Zellstoff-, Faserplatten- und Spanplattenindustrie, sowie zur Energieerzeugung und sonstigen Zwecken. In Abb. 1 und 2 sowie Tabelle 1 sind Aufkommen und Verwendung der einzelnen Industrieholzsortimente in ihrer Entwicklung bis zum Stand von 1978 dargestellt.

Daraus ergibt sich, daß die Verwendung von Industrieholz, sowohl des Wald- als auch des Industrierestholzes, zur Energieerzeugung stetig zurückging. Dies ist auf die in der Vergangenheit schlechte Konkurrenzsituation des Holzes in diesem Bereich zu anderen Brennstoffen zurückzuführen. Während der Verbrauch der Faserplattenindustrie seit Jahren stagniert, wenn nicht sogar zurückgeht, kann für die Spanplattenindustrie ein stetig ansteigender Verbrauch bis auf 7 Mio. m³ Industrieholz im Jahre 1978 beobachtet werden. Dabei handelt es sich bei dem Waldholz vorwiegend um qualitativ ge-

Abb. 1: Aufkommen von Industrie- und Industrierestholz
1970 - 1978 in der Bundesrepublik Deutschland



+ — + Nadelindustrieholz
 o — o Laubindustrieholz
 + - - - + Nadelindustrierestholz
 o - - - o Laubindustrierestholz

nach: BML¹⁾ (1972-1978)
 KAPPENSTEIN (1975/78)

¹⁾ BML = Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft
 und Forsten, Bonn

ringwertige Sortimente wie IF¹⁾ und IK²⁾, sowie um Laubhölzer und beim Industrierestholz zunehmend um Hobel- und Sägespäne, während der Anteil an Schwarten und Spreißel relativ gering ist. Dagegen bezog die Holzschliffindustrie in der Vergangenheit fast ausschließlich hochwertiges Nadel- und nur in geringem Umfang Laub-Waldholz (IN³⁾). Erst in den letzten Jahren ist in diesem Industriezweig durch das Auf-

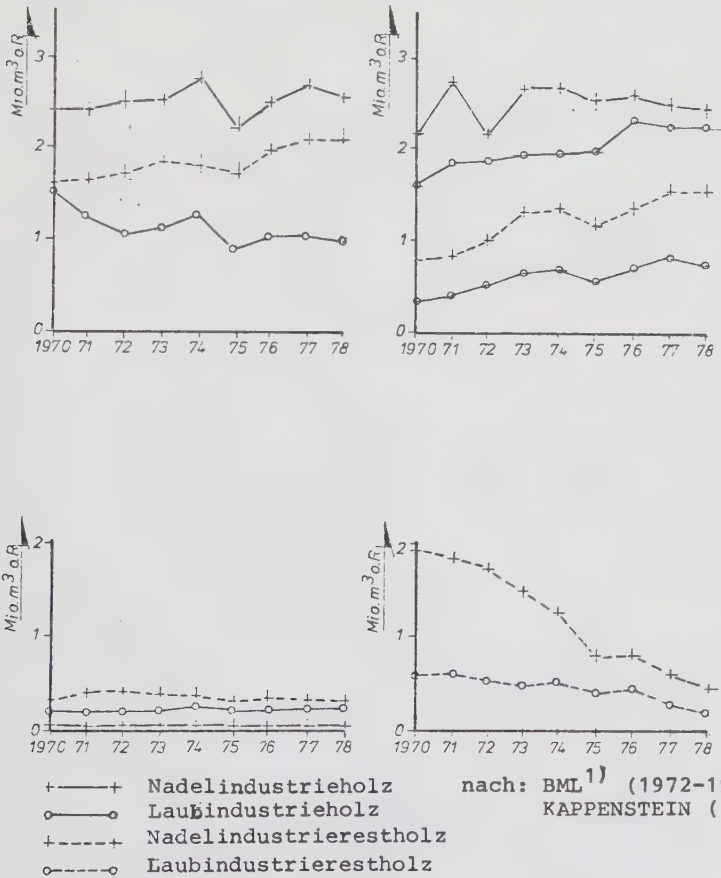
¹⁾ IF = Industrieholz - faul

²⁾ IK = Industrieholz - krank

³⁾ IN = Industrieholz - normal

nach MIN. f. ERNÄHR.,
 LANDW., WEINB. und
 FORSTEN; BA.-WÜ. (1974):
 Holzhandelsklassen-
 sortierung (HKS)

Abb. 2: Verwendung von Industrie- und Industrierestholz
(1970 - 1978) in der Bundesrepublik Deutschland



¹⁾ BML = Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn

Tab. 1: Industrierestholzmarkt der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 1978

Aufkommen in 1000 m ³		Verwertung in 1000 m ³	
<u>Faserholz</u>	Inlandsaufkommen	Verbrauch	
	9.851		13.822
	FI/Ta 3.875	Zellstoff- u. Papierindustrie	5.762
	KI/LA 1.831	N-Faserholz	2.606
	Bu 3.427	L-Faserholz	994
	EI 718	Industrierestholz	2.162
	Einfuhr 957	Spanplattenindustrie	7.060
	NH 457	N-Faserholz	2.476
	LH 500	L-Faserholz	2.274
		Industrierestholz	2.310
<u>Industrie- restholz</u>	Inlandsaufkommen	Faserplatten u. sonstige Industrien	ca. 700
	7.930	Verfeuert bzw. anderweitig verwendet	ca. 300
	Schwarten/Spreißel 4.209		
	Hobelspäne 715		
	Sägespäne 1.606		
	Einfuhr 638		
	Schwarten/Spreißel 280	Ausfuhr	
	Hobelspäne 614	N-Faserholz	499
	Sägespäne 144	L-Faserholz	96
		Schwarten/Spreißel	240
		Sägespäne	93
		sonstige Holzfälle	304
<u>Gesamtaufkommen</u>		Bestandserhöhungen	ca. 4.322
	19.376	Gesamtverwertung	19.376

Nach: KAPPENSTEIN (1979) und ZMP¹⁾ (1979), VDP²⁾ (1979a)

1) Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft GmbH, Bonn-Bad Godesberg
 2) Verband Deutscher Papierfabriken, Bonn

kommen des Hackschnitzelschlicfs auch ein Verbrauch von Hackschnitzeln zu beobachten. Die Zellstoffindustrie hat, wohl aufgrund der ansteigenden Preise für Waldholz, bei sich ständig erhöhendem Gesamtverbrauch seit Beginn der 70er Jahre vermehrt Industrierestholz bezogen. Dabei liegen die Qualitätsansprüche zwischen denen der Spanplatten- und denen der Holzschliffindustrie. Generell ist festzustellen, daß der Industrieholzmarkt in seinen Bestandteilen bis weit in die 70er Jahre durch ein Überangebot und damit durch schlechte Preise gekennzeichnet war. Seit einigen Monaten ist ein Ausgleich, wenn nicht sogar bereits eine gewisse angespannte Marktlage vor allem beim Waldholz zu beobachten.

Wenn man auf dieser Basis in die Zukunft blickt, so ist aus vielerlei Gründen anzunehmen, daß der Bedarf an Industrieholz in den verschiedensten Sortimenten weiterhin zunehmen wird (s. SCHREIBER, 1976). Dies geht auch aus Studien der FAO/ECE¹⁾ (1976, 224 ff.) und KEAYS (1975) hervor, die übereinstimmend für das Jahr 2000 prognostizierten, daß der Bedarf an Industrieholz in Europa das Angebot, selbst unter Aktivierung sämtlicher Reserven, überschreiten wird. Worauf ist dies zurückzuführen? Die Veränderungen auf dem Energiesektor lassen durch Verteuerung der verschiedenen Brennstoffe das Holz als Energiespender wieder zunehmend an Aktualität gewinnen. Selbst wenn man die starken Zuwachsraten des Spanplattenverbrauchs in der Bundesrepublik Deutschland, wie sie in den zurückliegenden Jahren erzielt wurden, in Zukunft nicht mehr als realisierbar hält, dürfte der Bedarf der Spanplattenindustrie weiter zunehmen.

¹⁾ FAO/ECE = Forest and Agricultural Organisation/
Economic Commission for Europe

Die Situation auf dem Zellstoff- und Papiermarkt der Bundesrepublik Deutschland ist durch eine starke Importabhängigkeit gekennzeichnet. 1978 mußten, wie annähernd auch im Durchschnitt der vorangegangenen Jahre, 38 % der Faserstoffe, der Papiere und der Pappen importiert werden (VDP 1979 a), so daß über 50 % des heimischen Papier- und Pappeverbrauchs direkt oder indirekt aus dem Ausland gedeckt wurde. Besonders hoch ist der Anteil bei den Massenpapieren.

Unter langfristigen Gesichtspunkten kann ferner beobachtet werden, daß die Importpreise sowohl für den Faserstoff als auch für Papiere im Durchschnitt der letzten Jahre erheblich angestiegen sind, wobei davon ausgegangen werden kann, daß keine Anzeichen für eine Umkehr dieser Entwicklung zu sehen sind. Aus den Prognosen von STEINLIN (1975) und HAAS (1976, 23 ff.) läßt sich schließlich entnehmen, daß zukünftige Importmöglichkeiten für Faserstoffe und Papiere wegen fehlender Kapazitäten, höheren Eigenverbrauchs, Verknappung der Faserstoffe und anderer Gründe wenigstens partiell, wenn nicht sogar generell, eingeschränkt sein werden. Da der Papierverbrauch je Einwohner weltweit mit dem Bruttosozialprodukt gekoppelt ist und dieser z. B. 1977 in der Bundesrepublik Deutschland (137 kg) noch weit unter dem der USA (273 kg) und einigen skandinavischen Ländern (z. B. Schweden 195 kg) lag (VDP, 1979 b), ist anzunehmen, daß in der Bundesrepublik mit einem weiteren Papierverbrauch zu rechnen ist.

Die Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte führt zu der Erkenntnis, daß die industrieholzverarbeitenden Branchen ihre insgesamt ansteigenden Bedarfsmengen verstärkt im Inland decken müssen. Angesichts der langen Anlaufzeiten für Investitionen dieser Branchen muß dafür Sorge getragen werden, daß diese in absehbarer Zeit realisierbar sind. Hierzu stehen

zwei Lösungsmöglichkeiten zur Verfügung:

- Erschließung ungenutzter Rohstoffquellen
- Verbesserte Ausnutzung der vorhandenen Rohstoffe

Im Bereich des Waldholzes scheinen nach der bayrischen Holzaufkommensprognose und den Ausführungen von KETTERING (1976, 6 ff.) und HEID (1976, 3 ff.) große Mengen Schwachholzes in Zukunft verfügbar zu sein. Fraglich ist jedoch, ob es gelingt, diese Sortimente in allen Besitzarten zu mobilisieren und der Industrie zu vertretbaren Preisen zur Verfügung zu stellen. Auch wird eingewandt, daß in Zukunft der vermeintlich unerschöpfliche Schwachholzvorrat durch rationelle Ernteverfahren, eine geschickte Sortierung und Vermarktung, möglichst in Verbindung mit einem Schwachholzhof, der auf der Absatzseite, unter Berücksichtigung einer Verknappung auch im Stammholzbereich, auf eine weiterentwickelte Sägewerkstechnik, z. B. mit Hilfe von Profilerspanern trifft, bei erntekostendeckenden Erlösen abgebaut werden könnte, und damit ein gegenüber heute geringerer Anteil an echtem Industrieholz anfallen würde (WECHSELBERGER, 1977; GRAMMEL 1978, 1). In die gleiche Richtung könnte sich das waldbauliche Konzept der Weitstandbegründung und -pflege auswirken, von denen die ersten Bestände in den nächsten Jahren zur Durchforstung anstehen. Damit könnte sich in ein paar Jahren aus dem Schwachholzüberschuß ein Schwachholzdefizit ergeben.

Größere Reserven dürften sich durch die Ganzbaumhackung von Durchforstungsmaterial, Mittel- und Niederwaldbeständen, sowie durch die Verwertung des Schlagabraums und der unterirdischen Biomasse erschließen lassen. Nur darf nicht übersehen werden, daß die Qualität des Ganzbaumhackschnitts recht inhomogen ist, und es zu ihrer Verbesserung eines ho-

hen technischen Aufwands bedarf. Wenn die Probleme der Ernte und Bereitstellung technisch und organisatorisch bewältigt werden, stellen Ganzbaumhackschnitzel einen wertvollen Energieträger dar. Auch die Verwertung in der Spanplattenindustrie erscheint nach vorliegenden Forschungsergebnissen, zumindest wenn man sich auf den Einsatz in der Mittelschicht beschränkt bzw. keine hohen Anforderungen an die Festigkeitseigenschaft der Platten stellt, unproblematisch. Für höherwertige Verwendung (Zellstoff- und Schliffindustrie) ist eine Reinigung unumgänglich. Unter diesen Aspekten kommt dem Industrierestholz zur Deckung des inländischen Industrieholzbedarfs eine große Bedeutung zu.

Während das Waldholz als primärer Rohstoff in weitgehend homogener Form und bekannten Qualitäten angeboten wird, handelt es sich bei dem Industrierestholz als einem Koppelprodukt verschiedener Produktionszweige um ein bezüglich Qualität und Form recht inhomogenes Sortiment, dessen mengenmäßiger Anfall von vielen Imponderabilien abhängt. Im Bereich des Industrierestholzes stellt das Sägerestholz mit 55 % den größten und homogensten Anteil dar, auf den das Augenmerk zu richten ist.

Nach LENZ (1963, 56) fallen im Durchschnitt 8 % Schwarten, 7 % Säumlänge und 16 % Sägespäne an. Diese Angaben dürften auch heute noch der Realität entsprechen. Jedoch sollten zwei Tendenzen, die einen verstärkten Sägerestholzanfall hervorrufen, nicht übersehen werden: Die Aufarbeitung der Seitenware ist, zumal mit abnehmendem Rundholzdurchmesser, recht arbeitsintensiv, und die dabei erzeugten Produkte erzielten in der Vergangenheit zum Teil nur einen sehr geringen Preis. So ist es nicht verwunderlich, daß in den letzten

Jahren vermehrt die Entwicklung zu beobachten ist, daß im Rahmen von Rationalisierungsmaßnahmen auf die Erzeugung dieser unproduktiven Erzeugnisse verzichtet wird. Dies führt jedoch zu einem weiteren Anstieg des Sägerestholzanteils. Die gleichen Auswirkungen sind mit den verschiedenen Schwachholzsägetechnologien, die zunehmend an Bedeutung gewinnen, verbunden. Hierbei wird zum Teil eine Hauptproduktausbeute von lediglich 50 % und weniger erreicht. Aus all dem Angeführten wird ersichtlich, daß die Verwertung des Restholzes für den Säger von eminenter Bedeutung ist. Der Absatz der Schwarten und Spreißel, die in Form von Großbunden oder Hackschnitzeln angeboten werden, stellt diesen Industriezweig jedoch vor erhebliche Probleme.

Die Mengennachfrage war bislang starken Schwankungen unterworfen, und die Preise blieben meist unbefriedigend. Diese Situation wird noch dadurch verschärft, daß die Rundholzpreise in den letzten Jahren stark angezogen haben. Andererseits beklagen die weiterverarbeitenden Industrien, daß die Qualität des Sägerestholzes in der Regel recht gering sei, bzw. erhebliche Schwankungen aufweise. Vor allem diese beiden Faktoren, die mit einer industriellen Fertigung, bei der eine gleichmäßige Produktqualität angestrebt wird, nur schwer vereinbar sind, haben dazu geführt, daß vornehmlich die Zellstoff- und Papierindustrie wesentliche Vorbehalte gegen diesen Rohstoff hat und damit nicht bereit ist, auch nur annähernd die Preise für Industrierestholz zu zahlen, wie sie beim Waldholz üblich sind.

So stellt sich der derzeitige und zukünftige Industrieholzmarkt verkürzt wie folgt dar:

- Die Entwicklung des Mengenaufkommens und -bedarfs läßt sich im Detail nicht sicher vorhersagen; es muß jedoch davon ausgegangen werden, daß zum Ende des Jahrhunderts, selbst bei Mobilisierung aller Reserven, trotz der Weiterentwicklung der Technik und einer entsprechenden Preisgestaltung, eine Verknappung eintreten wird.
- Während über die Qualität bzw. über die sie beeinflussenden Faktoren des Waldholzes weitgehend Klarheit herrscht, besteht hierüber bei Ganzbaumhackschnitzeln und Industrierestholz noch erhebliche Unsicherheit.

2. PROBLEMSTELLUNG

Wenn, wie sich aus dem vorher gesagten ergibt, dem Industriestholz in den kommenden Jahren eine erhebliche Bedeutung zur Deckung des Holzbedarfs der entsprechenden Industrien zukommt, müssen Fragen des quantitativen und qualitativen Angebotes und der Nachfrage eingehend erörtert werden.

FRÜHWALD (1978, 130 ff) sowie NOCK und STEGMANN (1979) haben das mengenmäßige Angebot und die FAO/ECE (1976, 224 ff.) in der zuvor erwähnten Studie den zukünftigen Verbrauch eingehend prognostiziert. Bezüglich der Qualitätsanforderungen bestehen bei den potentiellen Industriestholzverarbeitern meist detaillierte Vorstellungen, wobei jedoch darauf zu verweisen ist, daß die Erfahrungen mit diesem Rohstoff z. T. sehr unterschiedlich sind; denn Industriestholz fällt in den verschiedensten Sortimenten als "Abfall" in den unterschiedlichen Holzbearbeitungsprozessen an. Unter dem Gesichtspunkt der Verknappung gilt es jedoch, auch den Rohstoff Industriestholz einer optimalen Verwendung zuzuführen, d. h. zu ergründen, welche Eigenschaften die verschiedenen Sortimente aufweisen, welchen Schwankungen sie unterliegen, und inwieweit sie die Eigenschaften, und damit den Wert der daraus erzeugten Produkte, beeinflussen. Aufgabe der vorliegenden Arbeit ist es, einen Beitrag zum besseren Verständnis dieser Zusammenhänge zu leisten.

2.1 Analyse der Problemstellung

Das Industrieholz wird, wie viele andere industrielle Rohstoffe, durch eine große Anzahl von meist chemischen, biologischen und physikalischen Eigenschaften gekennzeichnet. Sie alle zu bestimmen wäre äußerst aufwendig. Im Rahmen einer praxisbezogenen Fragestellung erscheint es vielmehr

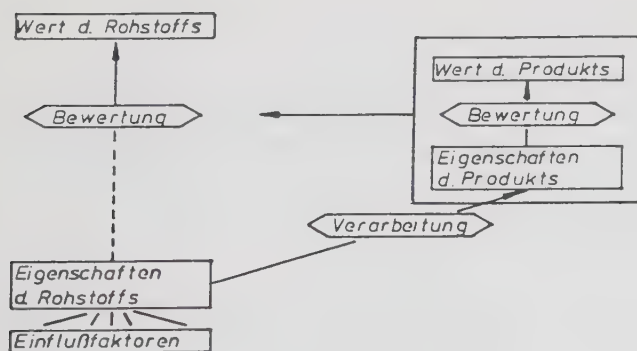
sinnvoll, lediglich die Eigenschaften zu berücksichtigen, die für den potentiellen Verarbeiter von Bedeutung sind, und damit für ihn einen Wert haben. In einem Produktionsprozeß, der seinerseits durch die Schaffung eines möglichst hohen Wertes gekennzeichnet ist, hängt der Wert des Rohstoffes wesentlich davon ab, welche positiven bzw. negativen Einflüsse seine Eigenschaften auf das Endprodukt ausüben, d. h. in welchem Maße sie den Wert des Endproduktes, und damit den Nutzen für den Verarbeiter, bestimmen. Damit wird deutlich, daß im Rahmen der vorliegenden Untersuchung der Wert weder als objektive, allgemeingültige Eigenschaft (objektivistische Werttheorie), noch als Ergebnis von Angebot und Nachfrage (Gleichgewichtstheorie), sondern als Relation zwischen dem Wertenden und dem zu bewertenden Objekt, und damit als eine auf die subjektive Zielsetzung ausgerichtete Eigenschaft (subjektivistische Werttheorie), verstanden wird (GABLER, 1975, 733 ff.). Dieser "Nutzwert" ergibt sich aus den Erhöhungen und Verminderungen der Kosten und Erlöse, die durch Qualitätsschwankungen bei der Verarbeitung und beim Verkauf entstehen.

Da der Wert des Endproduktes aus verschiedenen Eigenschaften resultiert, die ihrerseits durch mehrere Rohstoffmerkmale beeinflußt werden (können), sind bei der Bereitstellung mit Sicherheit eine Vielzahl unterschiedlicher Restholzeigenschaften zu berücksichtigen und zu bewerten.

So ergibt sich, wie in Abb. 3 dargestellt, folgendes Beziehungsgefüge: verschiedenartige Faktoren beeinflussen die Eigenschaften des Rohstoffes und deren Schwankungen; diese wiederum bedingen die Eigenschaften des Produktes; anhand der Bewertung dieser Eigenschaften durch Erlösveränderungen

und Minder- bzw. Mehrkosten im Verarbeitungsprozeß ergibt sich auf dem Wege der retrograden Kalkulation (vgl. LÖFFLER, 1968, 11) der Nutzwert des Rohstoffes.

Abb. 3: Modellhafte Ermittlung des Wertes eines Rohstoffes



Um dieses Beziehungsgefüge für das Sägerestholz aufdecken zu können, wäre es notwendig, eine entsprechende Produktionskette konkret zu beobachten. Jedoch handelt es sich bei der Bereitstellung von Sägerestholz und seiner industriellen Verarbeitung um vielschichtige und vielgestaltige Prozesse, so daß eine klare Bestimmung und Zuordnung der Wertkomponenten meist nicht möglich sein dürfte. Daher beschränkt sich die Untersu-

chung schwerpunktmäßig auf die Bestimmung der Sägerestholzeigenschaften und deren Auswirkungen auf charakteristische Produktmerkmale. Nur in Ausnahmefällen wird versucht, aufgrund der Erfahrungen in der Praxis, Eigenschaften, bzw. Beziehungsgefüge zu bewerten.

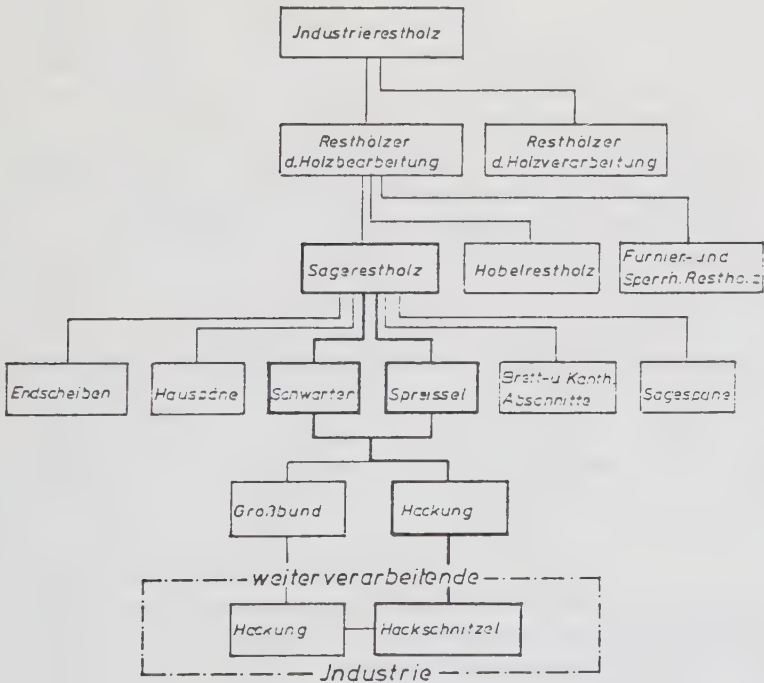
2.2 Abgrenzung der Problemstellung und methodisches Vorgehen

Wie sich bereits bei einer ersten Betrachtung (vgl. Abschn. 1) gezeigt hat, ist der Industrierestholzmarkt durch eine große Vielschichtigkeit gekennzeichnet: Es werden vielfältige Sortimente in unterschiedlichen Formen mehreren Abnehmern angeboten. Die Vielzahl der dabei zu berücksichtigenden Faktoren bedingt, daß die Problemstellung in mehrfacher Hinsicht eingeschränkt werden muß.

2.2.1 Eingrenzung des Untersuchungsgegenstandes

Das Industrierestholz umfaßt Holzsortimente, die bei einer industriellen Verarbeitung von Holz neben dem Haupt- und Nebenprodukt anfallen und früher als Abfälle bezeichnet wurden. Gemäß den Ausführungen von LENZ (1963, 20 f.) läßt sich das Industrierestholz wie folgt einteilen:

Abb. 4: Gliederung des Industrierestholzes und Aufarbeitung der Schwarten und Spreißel



In einer ersten Stufe sind Resthölzer der Holzbe- und -verarbeitung zu unterscheiden, wobei der Anfall aus letzterem Bereich in Zusammensetzung, Form und Menge stark variiert, jedoch in Prozent der eingesetzten Holzmasse meistens nicht sehr groß ist. Wegen der erheblichen Inhomogenität kann man nicht von einem einheitlichen Sortiment sprechen, so daß auch

seine Verwendung von den einzelnen Betrieben, wenn man von der Verbrennung absieht, vorwiegend individuell gelöst wird. Die erste Kategorie ist zu untergliedern in Resthölzer der Sägeindustrie, der Hobelwerke und der Furnier- und Sperrholzindustrie. Während in Hobelwerken vorwiegend Späne anfallen, besteht das Restholz der Furnier- und Sperrholzwerke aus verschiedenen Sortimenten, wie Anschäler, Restrollen, Restfurnieren und Besäumstücken. Über ihre Verwertung gilt das bereits oben ausgeführte. Das Sägerestholz kann in 6 Sortimente eingeteilt werden. Dabei ist, wie den Untersuchungen von LENZ (1963) zu entnehmen ist, das Hauptgewicht auf Schwarten, Spreiße und Sägespäne zu legen. Die drei übrigen Sortimente "Endscheiben" und "Hauspäne", sowie "Brett- und Kantholzabschnitte" werden sowohl in der Statistik, als auch in der Praxis in Ermangelung anderer Absatzbereiche und wegen des geringen Mengenanfalls, beim Verkauf den Schwarten und Spreißen zugeschlagen, ein Vorgehen, das einen erheblichen, in der Mehrzahl der Fälle negativen Einfluß auf die Qualität des Sägerestholzes ausüben dürfte.

Da nach den obigen Ausführungen die Sägeresthölzer, und von diesen wieder die Schwarten und Spreiße wegen ihrer relativen Homogenität und dem großen mengenmäßigen Gewicht von 4 Mio. m^3 , bei einem Gesamtindustrierestholzanteil von 13 Mio. m^3 (NOCK und STEGMANN, 1979) das bedeutendste Sortiment darstellen, beziehen sich die nachfolgenden Ausführungen auf Schwarten und Spreiße.

Wie aus Abb. 4 zu entnehmen ist, werden die Schwarten und Spreiße entweder im Sägewerk zunächst als Großbunde aufgearbeitet, in dieser Form zur Industrie befördert und dort gehackt, oder aber die Hackung erfolgt direkt im Sägewerk.

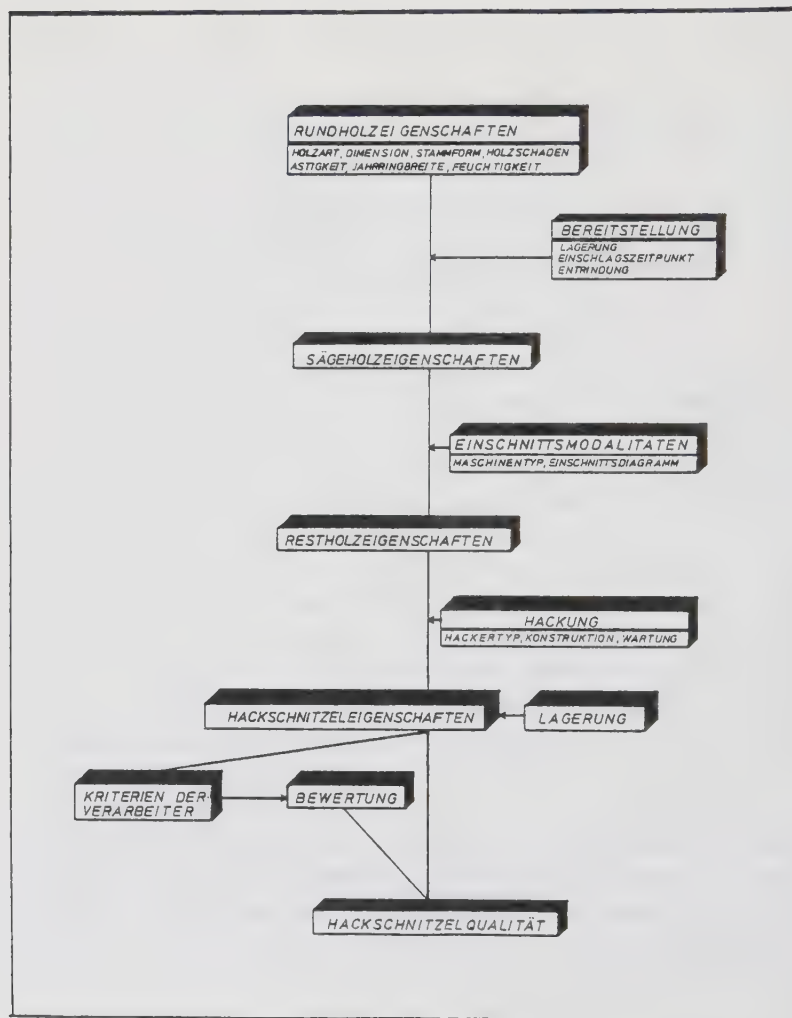
Damit ist der Hackschnitzel letztendlich die Form, in der die Industrien Schwarten und Spreißel verarbeiten, womit sich anbot, den Hackschnitzel zum Untersuchungsgegenstand zu wählen.

Da anzunehmen war, daß sich verschiedene Holzarten bei gleicher Bearbeitung in der Sägeindustrie unterschiedlich verhalten würden, war es notwendig, neben der Bestimmung des geeigneten Industrieholzsortiments, den Untersuchungsgegenstand auch in Bezug auf die Holzart zu beschränken. Da in Deutschland die Fichte den größten Anteil des Sägeholzes einnimmt, lag es nahe, diese Holzart auszuwählen.

2.2.2 Materialfluß im Sägewerk und Auswahl der zu untersuchenden Verarbeitungstechnologien-----

Um die Fragen, welche Eigenschaften das Sägerestholz in Form von Hackschnitzeln besitzt und wie diese beeinflusst werden, erörtern zu können, wurde anhand des Materialflusses des Sägerestholzes und von Literaturangaben, auf die in Abschn. 3 noch näher eingegangen wird, die Entwicklung der Hackschnitzelqualität eingehender betrachtet (Abb. 5): Das Stammholz wird durch die verschiedenen biologischen und physikalischen Merkmale und Eigenschaften charakterisiert, die sich zu einem großen Teil auch auf die Eigenschaften des Sägerestholzes auswirken. Holzart, Jahrringbreite und Schädigungen des Holzes üben einen Einfluß auf die weitere Verarbeitung aus, sind daneben aber auch direkte Eigenschaften des Sägerestholzes. Astigkeit, Stammform und Feuchtigkeit stehen in einer Wechselbeziehung zu den Einflußkomplexen Bereitstellung und Einschnittsmodalitäten.

Abb. 5: Entwicklung der Qualität der Sägerestholz-Hackschnitzel



Durch die Form der Bereitstellung kann das Rundholz entscheidende Veränderungen erfahren: Die Wahl von Einschlagszeitpunkt, Lagerungs- und Entrindungsart können wesentlich zur Erhaltung der positiven Eigenschaften, oder aber zu deren Verminderung beitragen. Dementsprechend ergeben sich die Rundholzeigenschaften vor dem Einschnitt.

Durch die Wahl der Einschnittsmodalitäten, weitgehend charakterisiert durch Maschinentyp und Einschnittsdiagramm, wird das mengenmäßige Aufkommen der verschiedenen Restholzsortimente, aber auch deren Form festgelegt.

Die Hackung der Schwarten und Spreißel erfolgt im Sägewerk, bzw. bei der weiterverarbeitenden Industrie, mit Hilfe von Trommel- bzw. Scheibenhacker. Daneben stellen Profilspanner der unterschiedlichsten Bauarten gleichzeitig ein Einschnitts- und Hackaggregat dar. Hackertyp, ihre Einstellung und "Handhabung" dürften wesentliche Einflüsse auf die Eigenschaften der Hackschnitzel ausüben. Da in den meisten Fällen eine direkte Weiterverarbeitung nach der Hackung, vor allem wenn sie im Sägewerk erfolgt, nicht möglich ist, wird eine Lagerung unumgänglich.

Unter dem Zwang, aus den verschiedenen Technologien und Variablen, die während des Materialflusses auf das Holz einwirken, die wesentlichsten auswählen zu müssen, ging man von folgenden Überlegungen aus:

Von den Bereitstellungsmodalitäten dürften Entrindungsart und Zeitpunkt, da sie mit verschiedenen Randbedingungen verknüpft sind, einen wesentlichen Einfluß auf die Hackschnitzelqualität ausüben (vgl. Untersuchungen von KELLER (1973) an Faserholz). Es wird daher zwischen Wald- und Werkseintrindung unterschieden.

Bei der Auswahl der Einschnittstechnologien war zunächst das Gattersägewerk mit Besäumer zu berücksichtigen, da der größte Teil des Nadelholzeinschnitts in der Bundesrepublik mit dieser Technik erfolgt. Daneben sollte Restholz von Profilspannerwerken wegen deren zunehmender Bedeutung und andersartigen Einschnitts- und Hacktechnologien untersucht werden. Damit ergeben sich unter Berücksichtigung der Tatsache, daß in Profilspannerwerken stets eine Werksentrindung vorgeschaltet ist, folgende Betriebstypen:

- Gattersägewerk/Waldentrindung
- Gattersägewerk/Werksentrindung
- Profilspannerwerk

Bezüglich der Hackungstechnik im Gattersägewerk war zwischen Trommel- und Scheibenhackern zu unterscheiden.

Aufgrund dieser Vorgehensweise ergeben sich somit folgende fünf Hackschnitzelsortimente:

- Profilspanner-Hackschnitzel,
- Scheibenhacker-Hackschnitzel aus waldentrindetem Holz im Gattersägewerk,
- Trommelhacker-Hackschnitzel aus waldentrindetem Holz im Gattersägewerk,
- Scheibenhacker-Hackschnitzel aus werksentrindetem Holz im Gattersägewerk,
- Trommelhacker-Hackschnitzel aus werksentrindetem Holz im Gattersägewerk.

2.2.3 Auswahl des für die Untersuchung geeigneten Restholz-Verarbeiters-----

Wie in Abschnitt 2.1 angeführt, ergibt sich die Qualität bzw. der Wert des Restholzes aufgrund der Bewertung der einzelnen Eigenschaften durch die Verarbeiter. Dies sind im vorliegenden Fall im wesentlichen die Spanplatten-, Faserplatten-, Zellstoff- (unterteilt in Sulfat- und Sulfitzellstoff) und die Hackschnitzelschliff erzeugende Industrie. Die unterschiedlichen Anforderungen, die diese an das Ausgangsmaterial stellen, und die damit verbundenen differenzierten Bewertungskriterien können bei gleichem Hackschnitzelmaterial zu unterschiedlichen Bewertungen führen. Damit wird deutlich, daß man sich im Rahmen der Untersuchung auf einen Verarbeiter spezialisieren muß.

Dabei galt es, den Verarbeiter zu ermitteln, der zum einen möglichst alle Eigenschaften, die auch von den konkurrierenden Verarbeitern berücksichtigt werden, bewertet und zum anderen die höchsten Ansprüche stellt.

Die Faser- und Spanplattenindustrie unterscheiden lediglich entrindetes und unentrindetes Sägerestholz und haben keine sehr hohen Qualitätsansprüche. Eine routinemäßige Qualitätskontrolle findet damit in der Regel nicht statt. Dagegen sind Fraktionsverteilung, Rindenanteil und sonstige Verunreinigungen des Hackschnitzelmaterials für die Zellstoffindustrie schon von größerer Bedeutung. Für die Sulfitzellstoffindustrie wird als max. Rindenanteil 3 % angegeben. In dieser Branche sind routinemäßige Kontrollen schon häufiger. Die Hackschnitzelschliff erzeugende Industrie stellt jedoch wesentlich höhere Anforderungen an ihren Rohstoff:

Rindenanteil, Feuchtigkeit und Fraktionsverteilung werden als besonders kritische Größen angesehen und in routinemäßigen Betriebskontrollen erfaßt. Dies erscheint jedoch vielfach nicht ausreichend. Häufig herrscht der Wunsch, die Helligkeit des Holzes sowie mechanische und pilzliche Faserschädigungen ebenfalls erheben zu können.

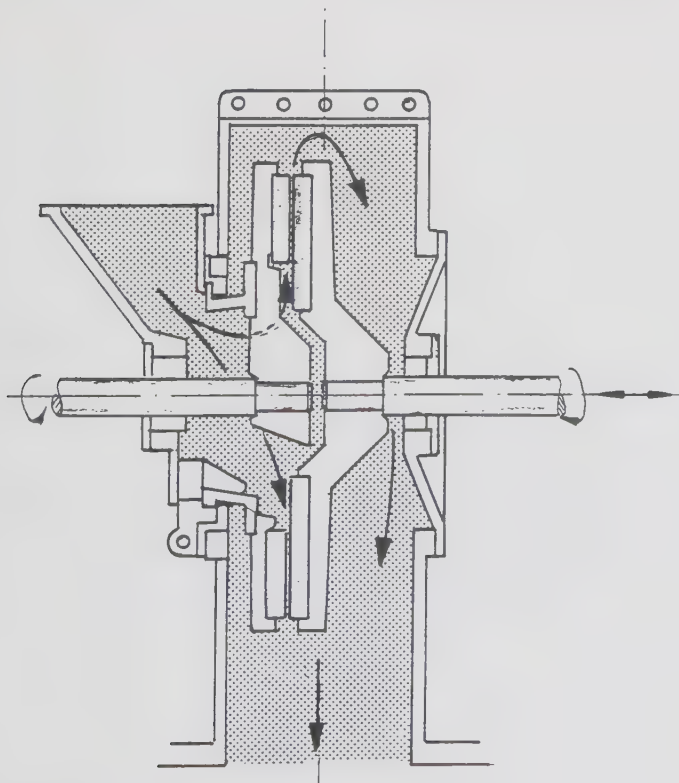
Aufgrund dieser Tatsachen kann hergeleitet werden, daß die Hackschnitzelschlifferzeugung alle Kriterien, die zuvor an den für die Untersuchung geeigneten Verarbeiter gestellt wurden, erfüllt. Da beim Hackschnitzelschliff zwischen mehreren Verfahren zu unterscheiden ist, muß in dieser Beziehung ebenfalls eine Auswahl getroffen werden.

Das Prinzip des Hackschnitzelschliffs beruht darauf, daß Hackschnitzel, erzeugt aus Rundholz bzw. Industrierestholz, zwischen rotierenden Mahlsteinscheiben in dem Refiner zerfasert werden (siehe Abb. 6). Wie beim Steinschliffverfahren unterscheidet man rein mechanische Prozesse (Refiner-mechanical-pulp, RMP), Verfahren, bei denen eine Vorbehandlung des Rohmaterials mit Dampf und Zerfaserung mit Dampfdruck erfolgt (Thermo-mechanical-pulp, TMP), und schließlich solche Verfahren, bei denen eine Vorbehandlung mit Chemikalien erfolgt (Chemo-mechanical-pulp, CMP). Da der Hackschnitzelschliff noch ein sehr junges Verfahren ist und die Ziele verschiedener Hersteller recht unterschiedlich sind, lassen sich allgemeingültige Urteile, wie die verschiedenen Verfahren untereinander und gegenüber dem normalen Steinschliff zu bewerten sind, nur schwer herleiten.

Allgemein weist der Hackschnitzelschliff gegenüber dem Steinschliff folgende Vorteile auf:

- neben Rundholz können verschiedene stückige "Resthölzer" verarbeitet werden,
- Hackschnitzel sind gegenüber Rundholz besser tränkbar,
- die Stoffqualität läßt sich durch entsprechende Gestaltung der Mahlscheiben, Regelung der Abstände und sonstige Maßnahmen beeinflussen.

Abb. 6: Querschnitt durch den Refiner zur TMP-Herstellung



LEASK (1975) stellt fest, daß der TMP den anderen Stein- und Hackschnitzelverfahren durch den geringen Splitteranteil und die hohen Festigkeitswerte des erzeugten Holzstoffes überlegen sei. Das sei darauf zurückzuführen, daß die Defibration schonender vor sich geht und dadurch, wie von GAVELIN (1976) und JENSEN und MANSTRÖM (1976) beobachtet, ein gleichmäßiger Faseraufbau, weniger Bruchstücke und somit ein höherer Langfaseranteil erhalten wird. Dies kann dazu führen, daß z. B. zur Herstellung von Zeitungsdruckpapier in Grenzfällen auf die Zugabe von teurem Zellstoff verzichtet werden kann.

Dies deutet an, daß der thermomechanische Schliff unter dem Gesichtspunkt, daß bei hohen Ausbeuten teurer Zellstoff substituiert werden kann, wobei der hohe Energiebedarf zur Herstellung des TMP nicht vernachlässigt werden soll, (siehe z. B. GAVELIN, 1978), eine für die Zukunft vielversprechende Technik darstellt.

Durch die umfassenden und hohen Ansprüche der TMP-Technik an die Hackschnitzel und die Erwartung, daß bei dieser Verwertung qualitativ hochwertige Hackschnitzel optimal genutzt werden könnten, ergibt sich, daß zur Ermittlung der Qualität bzw. des Wertes der Hackschnitzel die Kriterien der TMP-Herstellung angelegt werden. Daneben wird über Erfahrungen mit dem gleichen Hackschnitzelmaterial bei der Sulfitzellstoffherstellung berichtet.

2.3 Konkrete Problemstellung und Zielsetzung

Damit stellt sich der Gegenstand der vorliegenden Arbeit wie folgt dar: Es sollen Profilspanerschnitzel und Hackschnitzel, erzeugt aus Schwarten und Spreißeln, die beim Gattersägeneinschnitt von wald- bzw. werksentrindetem Fichtenholz anfallen, hinsichtlich ihrer Eigenschaften und deren Abhängigkeit von bestimmten Einflußfaktoren untersucht, sowie auf der Grundlage der Beziehungen zwischen Hackschnitzeleigenschaften und Qualitätsmerkmalen des daraus erzeugten TMP bzw. Zellstoffs, der Versuch unternommen werden, Ansätze zur Bewertung der einzelnen Hackschnitzeleigenschaften herzuleiten.

Dabei sind im einzelnen nacheinander folgende Fragen zu klären:

- Welche Eigenschaften besitzen Hackschnitzel aus Schwarten und Spreißeln, die ihren Wert für die Zellstoff- und Papierindustrie möglicherweise beeinflussen könnten?
- Durch welche Faktoren werden diese Eigenschaften beeinflusst?
- Wie wirken sich die Hackschnitzeleigenschaften auf die TMP- und Zellstoffherstellung und deren Qualitätsmerkmale aus?
- Welche Hinweise ergeben sich aufgrund der Zusammenhänge zwischen Hackschnitzeleigenschaften und TMP- bzw. Zellstoffmerkmalen auf den Wert dieser Eigenschaften?

Die Ergebnisse dieser Analyse sollten Anhaltspunkte dazu liefern, wie durch gezielte Maßnahmen die Eigenschaften des Sägerestholzes positiv beeinflußt und damit auch sein Wert zum Nutzen der Säge- und weiterverarbeitenden Industrien angehoben werden kann.

2.4 Methodisches Vorgehen

Da in der Literatur umfangreiche Angaben über die verschiedensten verwendeten Industrieholzsortimente und deren Auswirkungen auf die Qualität der daraus erzeugten Produkte vorlagen, (KLEMM, 1957; KNELL, 1968; KELLER, 1973 und andere mehr) erübrigten sich Vorversuche hinsichtlich der prinzipiell zu berücksichtigenden Rohstoffeigenschaften. So konnten im ersten Schritt die zu untersuchenden Eigenschaften des Sägerestholzes und die auf sie einwirkenden Faktoren festgelegt werden.

Für den konkreten Versuch bot sich das Experiment im Labor oder die Beobachtung der betrieblichen Praxis an: Im Laborversuch wird unter definierten und streng kontrollierten Bedingungen die Auswirkung in der Veränderung von wenigen Variablen untersucht. Damit ist es möglich, bei begrenztem Aufwand zu klaren Ergebnissen zu gelangen. Der entscheidende Nachteil dieses Vorgehens liegt darin, daß die Ergebnisse nur nach genauer Beobachtung und Abbildung der betrieblichen Gegebenheiten auf den Laborversuch in die Praxis übertragbar sind. Diese Gegebenheiten sind jedoch oft in ihren Zusammenhängen so komplex, daß eine Abbildung in den Labormaßstab nicht möglich ist. Dagegen zeichnen sich Versuche

in Betrieben, bei denen Informationen aus der laufenden Fertigung in großer Zahl aufgenommen und verarbeitet werden, durch ihre Praxisnähe aus. Um jedoch aussagefähige Ergebnisse zu erhalten, ist es notwendig, den zu untersuchenden Vorgang bezüglich aller relevanten Größen zu analysieren, um diese dann erfassen zu können. Dieser Forderung nachzukommen, ist oftmals sehr schwierig, wenn nicht gar unmöglich, zumal, wenn die zu erwartende Information den Aufwand nicht rechtfertigt. Die meist sehr große Anzahl von Variablen bedingt zusätzlich einen großen Versuchsumfang, um einigermaßen zuverlässige Ergebnisse zu erhalten. Die Auswahl der für die vorliegende Untersuchung geeignetsten Methodik erfolgte unter Berücksichtigung der Fragestellung und Zielsetzung sowie des augenblicklichen Informationsstandes in diesem Bereich. Da zu einzelnen Teilfragen, fußend auf Laboruntersuchungen, bereits Ergebnisse vorlagen und der Informationsstand über die Gegebenheiten bei der Industrierestholzbereitstellung in der Praxis zu gering war, um eine realitätsgetreue Versuchsdurchführung und Ergebnisinterpretation zu garantieren, und damit die Gegebenheiten in den Betrieben zu einem Versuchsgegenstand wurden, entschied man sich dazu, das Versuchsmaterial aus der laufenden Produktion unter Inkaufnahme der zuvor beschriebenen Nachteile zu gewinnen. Mit Ausnahme der unter Abschnitt 2.2 ff. erörterten Einschränkungen wurden keine weiteren Standardisierungen vorgenommen. Bezüglich der weiteren Einzelheiten des methodischen Vorgehens bei den Versuchen in den Betrieben sei auf Abschnitt 4.1 verwiesen. Um die Realisierbarkeit des Versuchsvorgehens zu erproben, wurden bei zwei Sägewerkstypen Voruntersuchungen durchgeführt (vgl. HEUGEL und GEIGER, 1977; FRIEMEL und PEISERT, 1978).

Um die Zusammenhänge zwischen den Hackschnitzeeigenschaften und der Qualität des daraus erzeugten TMP bzw. Zellstoffs herleiten zu können, wurde ein Teil der charakterisierten Hackschnitzelproben im Rahmen einer Untersuchung des Instituts für Holzchemie und Chemische Holztechnologie der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH, Hamburg) zu TMP und Zellstoff verarbeitet.

3. HERLEITUNG DER FÜR DIE ZELLSTOFF- UND HOLZSCHLIFFHERSTELLUNG WERTRELEVANTEN EIGENSCHAFTEN VON HACKSCHNITZELN

3.1 Ansprüche der Zellstoff- und Papierindustrie

Wenn man die breite Produktionspalette der Zellstoff- und Papierindustrie zusammenfassen will, so wird ein guter Zellstoff bzw. Schliff, vor allem durch un- bzw. kontrolliert veränderte Fasern und ein günstiges optisches Verhalten gekennzeichnet. Die Grundlagen zur Erreichung dieses Zieles, sind neben der Aufschluß- bzw. Schlifftechnik der anatomische Aufbau des Holzes und damit vor allem die Eigenschaften der Fasern. Da diese jedoch vorgegeben sind, und hierüber bereits umfangreiche Publikationen vorliegen, soll dieser Aspekt nur in soweit berührt werden, als Auswirkungen auf die Eigenschaften der Hackschnitzel zu erwarten sind. Daneben werden von seiten der Industrie eine große Anzahl verschiedener Kriterien bei der Beurteilung von Hackschnitzelmaterial angeführt. Hierzu zählen vor allem Größe, Frische und pilzliche bzw. mechanische Schädigungen der Hackschnitzel, sowie der Umstand, ob Fremdkörper beigemischt sind. All diese Faktoren lassen sich zu den beiden komplexen Form und Zustand der Hackschnitzel zusammenfassen.

3.2 Form der Hackschnitzel

3.2.1 Abmessungen der Hackschnitzel

Im Idealfall werden bei der Hackung mit konstantem Messerwinkel, bei der das Holz parallel zur Faserrichtung eingezogen wird, einheitlich lange Hackschnitzel erzeugt. In der Praxis ergibt sich jedoch, je nach Schwankung des Hackvorganges, eine Normalverteilung. Breite und Länge der Hack-

schnitzel lassen sich bei dieser Form der Hackung nicht kontrolliert steuern. So ermittelten BAUSCH und HARTLER (1960 a) bei qualitativ hochwertigen Hackschnitzeln einen Variationskoeffizienten von lediglich 20 % für die Länge, jedoch von 40 % für die Dicke. Dabei sind jedoch Länge, Dicke und Breite nicht unabhängig voneinander. Vielmehr fanden DAHM und LÖSCHBRANDT (1960) in Abhängigkeit von der Holzart einen linearen Zusammenhang zwischen Hackschnitzellänge und Dicke. Die Gleichmäßigkeit der Hackschnitzelform ist für die Zellstoffindustrie von großer Bedeutung. Daher bestanden früh Bestrebungen, die Extremwerte - zu kleine bzw. zu große Hackschnitzel - durch Siebung auszusortieren. Das von WILLIAMS (1938) entwickelte Fraktioniergerät, welches ausschließlich mit Rundlochsieben arbeitete, ergab eine Sortierung nach "Größe", ermöglichte jedoch keine Trennung nach Länge, Dicke oder Breite der Hackschnitzel. Dagegen erlaubten die bei EDBERG et al (1971) sowie HATTON (1975 a) beschriebenen Fraktioniergeräte die Unterteilung beim Grobanteil in zu dicke und zu breite, sowie beim Feinanteil in streichholzartige Pin-chips und den Staubanteil. Auf die Wirkungsweise dieser Geräte wird in Absatz 4.1.5.4 eingegangen.

Bevor die Bedeutung der einzelnen Fraktionen für die Zellstoff- und Schlifferzeugung behandelt wird, ist darzustellen, wie der ideale Hackschnitzel bezüglich Länge, Breite und Dicke aussehen sollte. Als Kriterien werden dabei die Imprägnierbarkeit und die Erhaltung der nativen Faserlänge berücksichtigt.

Unter dem Gesichtspunkt der Imprägnierung wären die Abmessungen der Hackschnitzel möglichst klein zu wählen: Je kürzer und dünner ein Hackschnitzel ist, desto schneller erfolgt die Durchtränkung mit der Aufschlußchemikalie bzw. dem Wasserdampf bei thermomechanischen Verfahren.

Bei der Sulfatzellstoffherstellung, bei der die Aufschlußchemikalie durch Diffusion in den Schnitzel eindringt und dabei den kürzesten Weg wählt, kommt der Hackschnitzeldicke eine entscheidende Bedeutung zu (HARTLER, 1963 a). Stark schwankende bzw. zu große Hackschnitzeldicken ergeben eine ungleichmäßige Delignifizierung und einen schlechteren Aufschluß, was sich negativ auf den Splitteranteil auswirkt. HARTLER (1962 a), HATTON und KEAYS (1973), BORLEW und MILLER (1970) fanden, daß für das Sulfatverfahren die ideale Hackschnitzeldicke bei 3 mm liegt, wobei Toleranzen von 2 - 6 mm eingeräumt werden. Da jedoch bei der industriellen Hackung meist tangential, in Faserrichtung verlaufende Spalten entstehen, in die die Aufschlußchemikalie eindringen kann, dürfen technische Hackschnitzel eine höhere Dicke als Laborschnitzel aufweisen (HATTON und KEAYS, 1973; COLOMBO et al, 1964).

Für das Sulfit- bzw. Thermorefinerschliffverfahren, bei denen die Diffusion nur eine untergeordnete Rolle spielt, sind Aufschlußchemikalien bzw. Wasserdampf stärker auf die natürlichen Leitungsbahnen angewiesen, zumal, wenn der Wassergehalt recht niedrig ist (HARTLER und STADE, 1979, 278 f). Dabei rückt die Hackschnitzellänge mehr in den Vordergrund. Während HOLTAPPELS (1974), der eine schnelle Durchtränkbarkeit als Auswahlkriterium annahm, möglichst dünne Hackschnitzel (< 2 mm) empfiehlt, sieht RAGGAM (1976) Hackschnitzel mit einer Länge bis zu 30 mm und einer Dicke von 3 - 6 mm als optimal an, wobei für ihn neben der schnellen Penetration eine günstige Wärmeleitung und hinreichende Fülldichte im Kocher entscheidend sind.

Eine weitere Bedeutung kommt der Hackschnitzellänge unter dem Gesichtspunkt zu, daß sowohl Zellstoff- als auch Schliffindustrie möglichst langfaseriges Material anstreben. Je

kürzer der Hackschnitzel, um so mehr Fasern werden prozentual bei der Hackung zerschnitten und um so stärker sinkt die durchschnittliche Faserlänge. BAUSCH und HARTLER (1960 a) berechneten die Beziehung zwischen Hackschnitzzelllänge und durchschnittlicher Faserlänge, wobei sie als ungeschädigte Faserlänge 3 mm annahmen. Aus dem Ergebnis ließ sich folgende Gleichung ableiten:

$$I_x = \frac{L \cdot I}{L + I}$$

Dabei bedeuten:

L = Schnitzzelllänge

I = durchschnittliche Faserlänge im Holz (3 mm)

I_x = durchschnittliche Faserlänge im Hackspan

Daraus ergibt sich, daß die Faserlänge überproportional abfällt, sobald die Schnitzel kürzer als 25 mm sind. Hierbei handelt es sich jedoch um eine idealisierte Betrachtung, da in der Praxis Faserstauchungen zumindest an einer Schnittfläche nicht zu vermeiden sind. Hierauf ist zu einem späteren Zeitpunkt noch näher einzugehen. Es sei jedoch bereits hier erwähnt, daß sich mit zunehmender Hackschnitzzelllänge der prozentuale Anteil gestauchter Fasern verringert.

Als Konsequenz aus diesen Erkenntnissen wird das Hackschnitzelgut zum Zwecke der Charakterisierung in zu breite, zu dicke und "Norm"-Hackschnitzel, in Pin-chips und den Stauban teil unterteilt. Dabei ergibt sich beim Aufschluß von zu breiten bzw. zu dicken Hackschnitzeln eine schlechtere Delignifizierung dieser Partikel, die Ausbeuten sinken ab, und der Spuckstoffanteil erhöht sich. Zwar läßt sich der Spuck-

stoff mit Mühlen bzw. Refinern zu Faserstoffen aufarbeiten; dessen Qualität ist jedoch aufgrund von Faserstauchungen meist geringer. Werden die überdimensionierten Schnitzel vor dem Aufschluß noch zerkleinert, erhöht sich der Anteil von Pin-chips und Staub mit den damit verbundenen negativen Folgen. Für den Hackschnitzelschliff liegen bislang aus der Praxis keine Ergebnisse vor, wie die Schliffqualität auf überdimensioniertes Material reagiert. Nach modellhaften Überlegungen von CORSON (1973) ist jedoch bei dieser Schlifftechnik wesentlich, einen konstanten Hackschnitzelfluß in den Refiner zu gewährleisten. Hierzu dürften konstante Form und Größe entscheidend beitragen.

Während die Hackschnitzelbreite im allgemeinen keinen Einfluß auf die Qualität der daraus erzeugten Faserprodukte hat, trifft dies für Pin-chips nicht zu. Dabei handelt es sich um Hackschnitzel, deren Breite in etwa gleich der Dicke ist, während die Länge stark variiert, meist jedoch unterhalb der vorgegebenen Hacklänge liegt. Ein größerer Anteil dieser Schnitzel verhindert durch Ausfüllen der Hohlräume zwischen den Normalhackschnitzeln eine gleichmäßige Zirkulation der Aufschlußchemikalie und der Wärme im Kocher. Dadurch ergibt sich ein ungleichmäßiger Aufschluß.

Dies gilt jedoch nur für Verfahren, bei denen die Hackschnitzel selbst während der Kochung nicht bewegt werden. Bei mechanischer bzw. semi-mechanischer Zerfaserung wird das Hackschnitzelgut umgewälzt, so daß mit Nestbildungen nicht zu rechnen ist. Nachteilig könnten sich bei diesen Technologien jedoch die größeren Faserschädigungen, aufgrund der geringeren Masse und Länge des Einzelpartikels, auswirken.

Der Staubanteil, der entweder vom Sägemehl oder Bruchstücken der regulären Hackschnitzel herrührt, ruft bei der Hackschnitzelschliff- und Zellstoffherstellung wegen der prozentual hohen Faserkürzungen und -schädigungen eine Qualitätsverminderung hervor. Dies zeigen auch die Untersuchungsergebnisse von HATTON (1975 b) sowie EDBERG et al (1974), die im Sulfataufschluß von Sägemehl wesentlich niedrigere Festigkeitswerte als bei Laborhackschnitzeln erzielten. Die Auswirkungen auf die Qualitätsunterschiede variieren jedoch noch stark nach der Form des Staubanteils und der Aufschlußtechnologie. Am geringsten ist der Unterschied bei der Herstellung von Sulfatzellstoff, unter milden alkalischen Bedingungen, am stärksten unter den aggressiven Verhältnissen des Bisulfitaufschlusses bei niedrigen PH-Werten und halbmechanischen Verfahren (DAHM, 1963; ISOTALO et al, 1964). Außerdem ergibt sich bei einem hohen Feinanteil ebenfalls die Schwierigkeit, eine homogene Zirkulation der Wärme und Aufschlußchemikalie zu gewährleisten. Bleibt das Hackschnitzelgut während des Aufschlusses in Bewegung, läßt sich dieses Problem vermeiden.

Ferner ist bei der Betrachtung der Hackschnitzelform noch die Auswirkung auf die Schüttdichte des Hackschnitzelgutes zu berücksichtigen (HARTLER und STADE, 1979, 293 f). Hierbei hat sich gezeigt, daß je breiter und dünner die Hackschnitzel sind, desto geringer ist das Schüttgewicht und damit die Auslastung der Kocher (EDBERG et al, 1973 b). Es ist jedoch zu vermuten, daß bei der besseren Zugänglichkeit der Fasern die geringere Ausnutzung der Kocherkapazität durch eine schnellere Delignifizierung wenigstens teilweise ausgeglichen werden kann.

3.2.2 Mechanische Faserschädigungen

Wie bereits angedeutet, treten bei der Hackschnitzelherstellung nicht nur Faserkürzungen an den Spalt- und Schnittflächen, sondern auch weitere Schädigungen der Fasern im Hackschnitzel auf. Soweit diese zu vollständigen Brüchen und damit einer Veränderung der Form führen, indem aus Hackschnitzeln Partikel herausgebrochen werden, wurde dies im vorhergehenden Abschnitt behandelt. Gegenstand sind vielmehr die Quetschungen und Stauchungen des Rohmaterials während des Einschnitts und der Hackung. Dabei treten Stauchungen der Mikrofibrillen (Mikrostauchungen) und Tracheiden (Makrostauchungen) auf, die sich in Rissen und Faserverschiebungen in der Mittellamelle, der Primär- und Sekundärwand auswirken (FREI-WYSSLING, 1953; BREITLING und PATT, 1974). STONE und NICKERSON (1959) stellten ergänzend dazu fest, daß Druckbelastungen parallel zur Faser, im Vergleich zu Beanspruchungen senkrecht zur Faser, größere Schäden verursachen. Durch die Stauchungen werden Wasserstoffbindungen zwischen den einzelnen Zelluloseketten gelöst und örtlich die Zugänglichkeit für die Aufschlußchemikalien erhöht. Dies führt beim sauren Sulfitaufschluß in stärkerem Maße als beim alkalischen Sulfatverfahren zu erheblichen Verminderungen der mechanischen Festigkeiten (BARTLER, 1963 a; BAUSCH und HARTLER, 1960 b). RYDHOLM (1965, 272) berichtet, daß sich durch Faserschädigungen die Festigkeitswerte des Zellstoffes um 20 % verringern können.

3.2.3 Einflüsse auf die Form der Hackschnitzel

Wenn man die im vorangegangenen Kapitel angeklungenen Einflußgrößen systematisiert, ergeben sich unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die vorliegende Untersuchung sich mit der Qualität von Sägeresthölzern beschäftigt, drei Komplexe, die die Form der Hackschnitzel bestimmen:

- Hacker- bzw. Einschnittssystem
- Hackereinstellung und Handhabung
- Zustand des Hackgutes

Die Zusammenfassung von Einschnitts- und Hacktechnik war notwendig, da im Falle der Profilspaner die Einschnitts- gleich der Hacktechnik ist.

3.2.3.1 Einschnitts- und Hacktechnik

Erste Veränderungen der Faserstruktur treten bereits beim Einschnitt des Rundholzes durch die verschiedenen Sägen auf. Je nach Schärfe und Höhe des Vorschubs des Einschnittsaggregats wird eine mehr oder weniger große Anzahl von Fasern parallel zur Faserrichtung gestaucht. Dabei werden nach STONE und NICKERSON (1959) s-förmige und spiralförmige Verwerfungen und Verdrehungen entlang der Faser hervorgerufen, wodurch sich die Festigkeit des aus diesen Hackschnitzeln erzeugten Zellstoffs erheblich vermindert. Dieser Einfluß ist umso stärker, je größer die Schnittfläche im Vergleich zum Volumen des Restholzes ist.

Für die Hackung stehen generell zwei Prinzipien zur Auswahl:

- die konventionelle Hackung
- die Parallelhackung

Bei der konventionellen Hackung wird das Hackgut parallel zur Faserrichtung den Hackmessern zugeführt und hier unter einem möglichst konstanten Hackwinkel senkrecht zur Faserichtung geschnitten. Wie bereits erwähnt, läßt sich hierbei lediglich die Länge des Hackgutes durch Anordnung und Einstellung der Messer bzw. durch die Einzugsgeschwindigkeit festlegen, während sich Breite und Dicke der Schnitzel in einem mehr oder weniger breiten Rahmen je nach Holzart und Hackerführung einstellen. Trommel- und Scheibenhacker stellen die herkömmlichsten konventionellen Hackertypen dar. Um neben der Länge auch die Dicke der Hackschnitzel, die, wie gezeigt, von großer Bedeutung ist, gezielt beeinflussen zu können, wurde die Parallelhackung entwickelt. Bei dem hohen maschinellen Aufwand und Anspruch bezüglich der Hackschnitzelqualität wird die Parallelhackung im Gegensatz zur konventionellen Hackung ausschließlich für Rundholz angewandt. Die Maschinentypen mit denen im Sägewerk gleichzeitig das Rundholz profiliert und das Restholz gehackt wird, lassen sich unter dem Begriff "Profilspaner" zusammenfassen.

3.2.3.1.1 Trommelhacker

Zur Verdeutlichung des Hackvorganges ist in Abb. 7 ein Trommelhacker dargestellt: Das Kernstück bildet dabei eine mit 2 - 6 Messern bestückte Trommel, die oft noch Hackschnitzelkammern besitzt. Das Hackgut wird horizontal mit Bändern und Einzugswalzen dem Messer zugeführt. Am Ende des Einlaufs be-

findet sich ein feststehendes Gegenmesser, gegen das die Holzstücke beim Hacken gedrückt werden. Die Rotormesser schneiden, schräg von oben in das Holz eindringend, Hackschnitzel ab und treiben diese durch einen Siebrost. Die theoretische Hacklänge ergibt sich nach folgender Formel:

$$L = \frac{V}{A \times n}$$

Hierbei bedeutet:

L = Theoretische Hacklänge (mm/Schnitt)

V = Vorschubgeschwindigkeit (mm/min)

A = Anzahl der Rotormesser

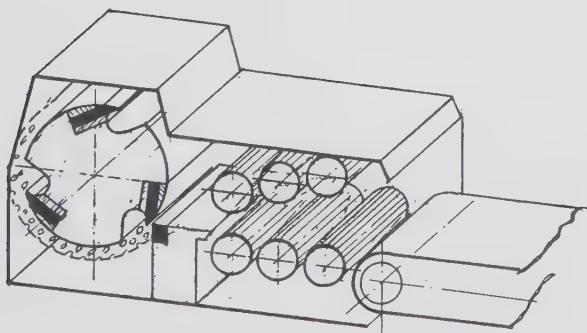
n = Rotordrehzahl (Umdrehung/min)

Ferner wird die Hackschnitzellänge durch die Größe des Siebrostes bestimmt. Für hohe Leistungen kann ohne Siebrost gearbeitet werden; dann sollte jedoch eine nachträgliche Absiebung der Hackschnitzel und eine Nachzerkleinerung der Grobstücke erfolgen. Die Vorteile des Trommelhackers bestehen zum einen darin, daß mit relativ geringem Aufwand eine hohe Leistung erzielt werden kann. Andererseits ist anzumerken, daß selbst kleineres Material durch die Einzugsrollen nah an das Messer herangeführt werden und somit kontrolliert gehackt werden kann. Die negativen Auswirkungen dieses Hackguts auf die Hackschnitzelqualität können jedoch nicht ganz verhindert werden.

Nachteilig wirkt sich beim Trommelhacker aus, daß bei größerer Aufgabenhöhe der Schnittwinkel von oben nach unten abnimmt und damit stark variiert:

Im oberen Bereich trifft das Messer senkrecht auf das Holz; stark gestauchte Schnittflächen und ein hoher Feinanteil sind die Folge. Schnitzel aus dem unteren Bereich werden mit optimalem Einlaufwinkel erzeugt, damit weniger gestaucht und der Feinanteil liegt dementsprechend niedriger. So ergeben sich aus dem oberen Bereich quaderförmige, aus dem unteren Bereich prismenförmige Hackschnitzel. Auf die im oberen Bereich verursachten Faserschädigungen wird in Abschnitt 3.2.3.2 näher eingegangen.

Abb. 7: Bauprinzip eines Trommelhackers

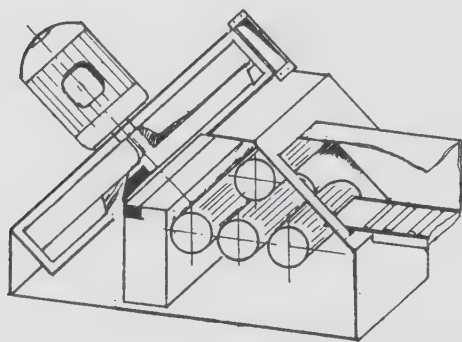


Schließlich dürfte das Material, welches nicht sofort das Sieb passiert, erhebliche Faserschädigungen erleiden, da die Nachzerkleinerung am Sieb bei unregelmäßiger Ausrichtung vorwiegend durch Quetschung erfolgt.

3.2.3.1.2 Scheibenhacker

Bei diesem Hackertyp sind die 2 - 4 Messer auf einer rotierenden Scheibe angeordnet (s. Abb. 8). Beim Hackvorgang wird das Material gegen ein feststehendes Gegenmesser gedrückt und geschnitten. Die so entstandenen Hackschnitzel gelangen durch einen Spalt vor dem Messer durch die Hackscheibe und werden dort von den auf der Rückseite der Scheibe angebrachten Wurf- bzw. Leitblechen erfaßt und zentrifugal abgeschleudert. Ein günstiger Einlaufwinkel zwischen 40 und 45° läßt sich entweder durch eine schräge Zuführung des Hackgutes auf die vertikal stehende Messerscheibe bzw. durch horizontale Zuführung auf die schräg liegende Messerscheibe erreichen. Heute wird meist die letztere Möglichkeit vorgezogen.

Abb. 8: Bauprinzip eines Scheibenhackers



Im Prinzip zieht der Scheibenhacker das Holz mit den Messern selbst ein; bei horizontalem Einlauf und hoher Beaufschlagung bedarf es jedoch einer Unterstützung. Dies erfolgt durch Einzugswalzen. Gegenüber dem Trommelhacker weist der Scheibenhacker den Vorteil eines stets gleichbleibenden Messerwinkels auf. Damit sind bei Hackschnitzeln aus Scheibenhackern eine höhere Homogenität des Materials und geringere Faserschädigungen zu erwarten.

Nachteilig wirkt sich andererseits aus, daß bei schräger Zuführung das Material überhaupt nicht gehalten wird und bei horizontalem Einzug durch den großen Abstand der oberen Einzugswalzen besonders kurzes Material nicht nahe genug an das Messer herangeführt und festgehalten werden kann, womit sich eine unregelmäßige Schnittführung ergibt.

3.2.3.1.3 Profilspaner

Gemeinsames Merkmal aller unter dem Begriff Profilspaner zusammengefaßter Aggregate ist die Tatsache, daß sie zum Profilieren von Rundholz verwandt werden und der Hackwinkel annähernd 0° ist. Da Profilspaner gleichzeitig Einschnitts- und Hackaggregate sind, verringert sich der Sägemehlanteil und die Hackschnitzelausbeute steigt. Ferner ist das Profilieren des Rundholzes wegen der größeren Masse kontrollierter durchzuführen als die Hackung von Schwarten und Spreißeln. Schließlich bieten Profilspaner durch die spezielle Gestaltung der Messer die Möglichkeit, Länge und Dicke der Hackschnitzel gezielt beeinflussen zu können. Durch diese Schnittführung ergibt sich ein wesentlich geringerer Kraftaufwand gegenüber konventionellen Hackern (HARTLER, 1961). Dadurch erhält man ein homogeneres Hackschnitzelmaterial, die Stauch-

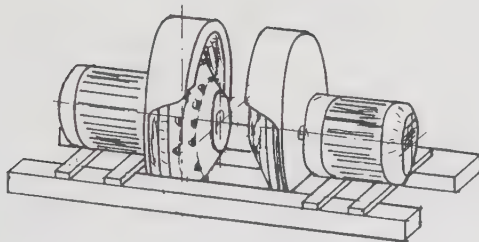
schäden nehmen ab, und damit ist eine höhere Zellstoffausbeute zu erwarten. Durch die verhältnismäßig große Breite der einzelnen Partikel ist jedoch das Schüttgewicht und damit die Füllung des Kochers geringer. Ferner fand HATTON (1975 a), daß bei Profilspanern im Vergleich zur Hackung von Rundholz der Anteil an Pin-chips, wohl aufgrund des ungünstigen Verhältnisses von Breite zu Dicke, das zum Zerbrechen der Hackschnitzel in Längsrichtung führen kann, sehr hoch ist. Es können folgende Typen unterschieden werden:

- Profilspaner im herkömmlichen Sinne (chipping canter) zum Abfräsen der Schwarte von Rundholz
- Besäumerhacker (chipping edger) zum Abfräsen der Waldkante von der Seitenware
- Planschnitzlern (chipping headrigs), mit denen das Rundholz in einem Schnitt profiliert wird.

Da Planschnitzler meist in Verbindung mit dem Chip-N-Saw-System eingesetzt werden, das in Nordamerika große Bedeutung hat, in Europa bislang jedoch nicht angewandt wird, und da die dabei anfallenden Hackschnitzel bezüglich Form und Qualität sehr stark variieren (EDBERG et al, 1973 b; GALLOWAY und THOMAS, 1972), soll dieses Verfahren hier nicht näher erläutert werden.

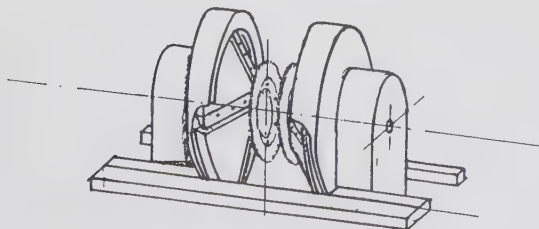
Von den verschiedenen Bautypen der Profilspaner (chipping canter) sollen die der Firmen LINCK und KOCKUMS näher betrachtet werden. KOCKUMS-PROFILSPANER bestehen aus zwei konischen Hackscheiben, auf denen zwei oder drei Spiralen mit 60 bzw. 94 Hackstäben angebracht sind (Abb. 9). Bei stark astigem Holz kann sich das Fehlen von Schlichtungselementen auf die Schnittqualität negativ auswirken.

Abb. 9: Bauprinzip eines Kockums-Profilspaners



Die LINCK-PROFILSPANER tragen auf zwei konischen Messerköpfen zwei bis drei Hackmesser, die jedoch einen größeren Winkel zur Faserrichtung als beim Kockums-Profilspaner aufweisen (Abb. 10). Eine relativ saubere Oberfläche wird durch das Aufsetzen von Schlichtsegmenten auf die Stirnseite der Messerköpfe erreicht, die das Rundholz vorritzen und damit ein Ausreißen verhindern. Dies führt jedoch dazu, daß ein gewisser Sägemehlanteil entsteht.

Abb. 10: Bauprinzip eines Linck-Profilspaners



3.2.3.2 Hackereinstellung und Handhabung

In den Begriffen Hackereinstellung und Handhabung sind die allen Hackertypen gemeinsamen konstruktiven Merkmale und die Auswirkungen ihrer Veränderung auf die Hackschnitzelqualität angesprochen. Jedoch werden andererseits durch den Hackertyp bereits einige Merkmale vorgegeben:

So ist der Trommelhacker durch einen sich stets ändernden Einschnittswinkel gekennzeichnet, während bei Profilspanern der Hackvorgang von zwei Schneiden parallel zur Faserrichtung durchgeführt wird. Da bei Scheibenhackern nur ein Messer mit konstantem Einlaufwinkel auf das Holz einwirkt, lag es nahe, die nachfolgenden Betrachtungen schwerpunktmäßig auf diese Hackertype auszurichten.

Die bei der Hackschnitzelbildung beteiligten Faktoren, die durch den Hacker bedingt werden, lassen sich durch ein Kräfte- (Abb. 11) und ein Winkeldiagramm (Abb. 12) wiedergeben. Nach HARTLER (1971) ist die Schneidkraft (F), die in Verlängerung des Messerrückens verläuft, in der Regel recht gering. Daneben ist vor allem die auf der Messerfläche senkrecht stehende Normalkraft (N_1) und unter Umständen die senkrecht zum Messerrücken wirkende Normalkraft (N_2) von größerer Bedeutung. N_1 läßt sich in die Schubkraft (N_1'), die im Idealfall parallel zur Faserrichtung verläuft, und eine hierzu senkrecht stehende Scherkraft (N_1'') aufteilen. Die Normalkraft N_1 und die Faserrichtung bilden den Winkel λ . Erhebt sich N_1 über der Faserrichtung, ist λ positiv und N_1' wirkt schräg gegen die Messerrichtung und schert im Zusammenwirken mit der Schubkraft N_1' das Spanende vom Stamm ab. Je größer der Winkel λ ist, um so stärker wirkt N_1'' , was zur Folge hat, daß dünnere Späne gebildet werden. Damit steigt das Längen-Dicken-Verhältnis und sinkt der Feinstoffanteil. Verläuft die Normal-

kraft N_1 unterhalb der Faserrichtung, so ist λ negativ, N_1'' wirkt in das Holz hinein und drückt den Span gegen das Holz, was zu erheblichen Faserschädigungen führt. Daraus ist ersichtlich, daß dem Winkel λ bei der Spanbildung eine erhebliche Bedeutung zukommt.

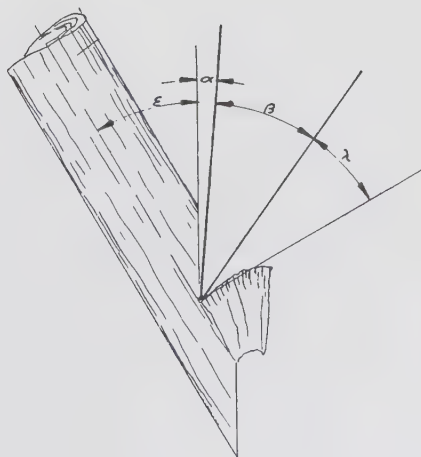
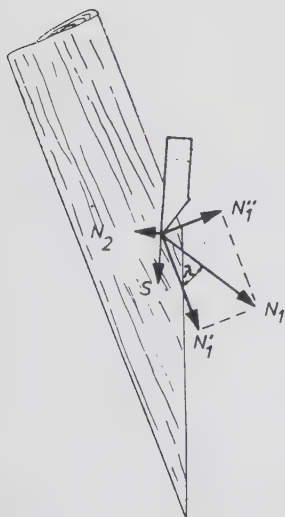
λ ist jedoch keine unabhängige Größe, sondern vielmehr das Endergebnis der Gestaltung des Einlaufwinkels (ϵ), des Freiwinkels (α), und des Schneidenwinkels (β). Daraus ergibt sich folgende Formel:

$$\lambda = 90 - (\alpha + \beta + \epsilon)$$

Neben dem resultierenden Winkel λ üben auch diese drei Winkel z. T. gegenläufige Wirkungen auf die Spanbildung aus.

Abb. 11: Kräfterdiagramm bei der Hackung

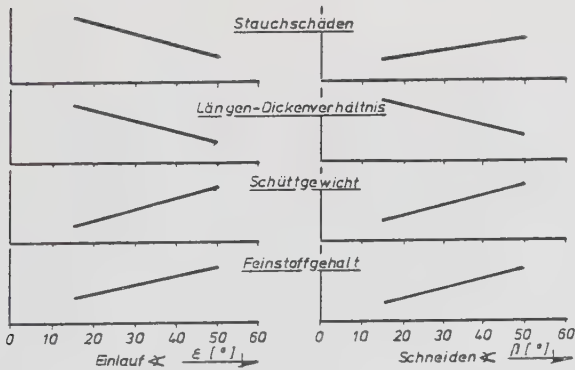
Abb. 12: Winkeldiagramm bei der Hackung



Der Einlaufwinkel (ϵ) beeinflusst nach HARTLER (1962) vor allem die Spandicke und die Faserschädigungen: Bei sehr kleinem Einlaufwinkel wird der zu bildende Span bereits vor dem Losbrechen stark komprimiert; der Komplementärwinkel λ nimmt dabei einen großen Wert an, so daß relativ dünne Schnitzel gebildet werden. Unter diesen Verhältnissen beobachtete HARTLER, daß die Spanenden aufspießen. Der vermeintliche Widerspruch zu den zuvor bezüglich des Winkels λ gemachten Aussagen ist damit zu erklären, daß bei den extrem dünnen Spänen die Masse nicht ausreicht, um die Querkraft N_1 aufzunehmen und es damit zu Brüchen kommt. Mit zunehmendem Einlaufwinkel verringert sich λ , die Späne werden damit dicker, und die Stauchschäden nehmen ab. Gleichzeitig vermindert sich mit zunehmender Spandicke das Längen/Dickenverhältnis, womit wiederum die Schüttdichte zunimmt. In der Praxis liegen die Einlaufwinkel zwischen $30 - 40^\circ$ (MC LAUCLAN und LAPOINTE, 1979).

Bei Verringerung des Schneidenwinkels β , wobei gleichzeitig λ zunimmt, vermindern sich nach HARTLER (1962 c) die Stauchschäden und die Spandicke. Da sich jedoch mit abnehmendem Schneidenwinkel die Messerstandzeit verringert, was zu einem höheren Kraftbedarf, der sich in einer stärkeren Faserschädigung auswirkt, führt, ist ein Kompromiß zwischen kleinstmöglichem Schneidenwinkel und der Messerstandzeit anzustreben. MC LAUCLAN und LAPOINTE (1979, 19) berichten von Messerwinkeln zwischen $30 - 37^\circ$. In Abb. 13 sind die Auswirkungen des Schneiden- und Einlaufwinkels auf die verschiedenen Hackschnitzzeleigenschaften dargestellt.

Abb. 13: Zusammenhang zwischen Stauchschäden, Längen/Dickenverhältnis, Schüttgewicht und Feinstoffgehalt sowie Einlauf- und Schneidenwinkel nach HARTLER (1971)



Der Freiwinkel α , der Winkel zwischen Schnittfläche und Messerrücken, beeinflusst nach HARTLER (1962 d) das Einzugsverhalten: Ist der Freiwinkel sehr klein, stößt das Holz vor dem Eingreifen des nächsten Messers gegen die Hackscheibe. In diesem Falle treten an dem normalerweise ungeschädigten Spanende durch das Wirken der Kraft N_2 Stauchschäden auf. Ferner vermindert sich die Hackschnitzzelllänge. Wird der Freiwinkel zu groß gewählt, erfolgt der Einzug ungleichmäßig, worunter die Homogenität des Hackschnitzelmaterials leiden dürfte. In der Praxis werden Freiwinkel von $1 - 7^{\circ}$ gewählt (MC LAUHLIN und LAPOINTE, 1979, 19).

Daneben beeinflusst die Schnittgeschwindigkeit die Spanbildung sehr wesentlich (HARTLER, 1963 b): Mit steigender Schnittgeschwindigkeit nehmen die nötige Hackkraft und damit auch die Stauchschäden zu. Da gleichzeitig dickere Hackschnitzel gebildet werden, sinkt das Längen/Dickenverhältnis ab.

Neben der gezielten Wahl der zuvor behandelten Winkel ist es notwendig, eine exakte Zuführung des Holzes zu gewährleisten, um homogenes Hackschnitzelmaterial zu erhalten. Einen kontinuierlichen Einzug des recht inhomogenen Restholzes zu gewährleisten, ist jedoch sehr schwierig. Dies gilt besonders für den Fall, daß eine große Menge Material zu hacken ist; denn mit zunehmender Aufgabehöhe können die Einzugswalzen das Material schlechter fassen. Außerdem erfolgt hierbei die Hackung weniger stabil: Während im Normalfall der Span zwischen Messer und Bockmesser gebildet wird, muß in dieser Situation das Restholz vom Messer zunächst komprimiert werden, bevor der Widerstand ausreicht, um die Schneide in das Holz eindringen zu lassen. Dabei verändern sich Einlauf- und Freiwinkel, so daß mit großen Faserschädigungen und einem Anstieg des Grob- und Feinanteils zu rechnen ist.

Daneben ist auf eine ständige Wartung der Hackaggregate zu achten. So erhöhen sich mit zunehmender Messerstandzeit der Kraftbedarf, die mechanischen Faserschädigungen sowie der Fein- und Grobanteil. Die schlechte Abstimmung von Messer und Gegenmesser hat den gleichen Effekt.

Zusammenfassend muß festgestellt werden, daß eine große Anzahl durch die Einschnitts- und Hackaggregate bedingter Faktoren die Form der Hackschnitzel beeinflusst. Die prakti-

schen Auswirkungen werden jedoch durch die engen Verknüpfungen der einzelnen Komponenten untereinander bestimmt.

3.2.3.3 Beschaffenheit des Hackgutes

Neben dem Hackaggregat und dessen Zustand wird die Spanbildung und damit die Form der Hackschnitzel durch die Eigenschaften des Holzes entscheidend bestimmt. Damit ist ein gleichmäßiger Aufbau des Holzes Voraussetzung für homogenes Hackschnitzelmaterial. Diese Gleichmäßigkeit zeigt sich in Gradfaserigkeit, geringer Astigkeit, gleichmäßigem Jahrringaufbau und geringen Schwankungen zwischen Früh- und Spätholz. Da bei der Spanbildung die Festigkeit des Holzes von ausschlaggebender Bedeutung ist, die ihrerseits in enger Korrelation zur Dichte der Holzart steht, wird bei der Hackung verschiedener Holzarten oder starken Schwankungen der Dichte einer Holzart Hackgut unterschiedlichster Qualität entstehen (HATTON, 1977).

Ferner wird die Spanbildung und damit die Form der Hackschnitzel von der Feuchtigkeit des Holzes beeinflusst. WULTSCH und HOLTAPPLES (1974) berichten, daß bei der Hackung von trockenem Holz ein um 100 % höherer Energieaufwand notwendig sei als bei feuchtem Holz. Gleichzeitig weise das aus trockenem Holz erzeugte Hackschnitzelmaterial starke Stauchungen auf, was im Sulfitaufschluß zu geringeren Ausbeuten und niedrigeren Festigkeitswerten des Zellstoffs führe. Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse von HARTLER (1963 b): gleichlautend fand auch er einen höheren Kraftbedarf bei der Hackung von trockenem Holz; jedoch beobachtete er hierbei geringere Stauchschäden und eine höhere Ausbeute bei der Zellstoffherstellung. Dies führte er darauf zurück daß bei trockenem Holz die von der Schnittfläche ausgehenden irreversiblen

Stauchschäden im Gegensatz zu nassem Holz nur wenig in den Schnitzel eindringen. Diese unterschiedlichen Beobachtungen könnten darauf zurückzuführen sein, daß sich durch das Zusammenwirken der Maschineneinstellung und des Holzzustandes je nach den jeweiligen Gegebenheiten gegensätzliche Ergebnisse einstellen können.

Da sich die Dichte des Holzes durch pilzliche bzw. tierische Schädigung verändert, sind auch entsprechende Auswirkungen auf das Hackergebnis zu erwarten. So fand MC GOVERN (1979, 115 ff.), daß bei pilzbefallenem Holz nicht nur die Zellstoffausbeute absinkt, sondern bereits bei der Hackung ein erheblich höherer Feinanteil erhalten wird. Die mechanischen Faserschädigungen dürften ebenfalls höher sein.

Zu den Eigenschaften des Holzes, die bei der Hackung zu berücksichtigen sind, muß ebenfalls die Temperatur des Holzes zum Zeitpunkt der Hackung gerechnet werden. HARTLER (1963 b) stellte zwar fest, daß sich bei Temperaturen oberhalb 0° C keine wesentlichen Veränderungen der Hackschnitzzeleigenschaften ergeben. Dagegen fand HATTON (1977) unter kanadischen Verhältnissen, daß im Winter die Schüttdichte wesentlich geringer war als im Sommer, was bei gleichbleibender Länge auf eine Verringerung der Hackschnitzeldicke hindeutet, und die Ausbeute von fehlerfreien Hackschnitzeln absank. EDBERG et al (1972) beobachteten, daß bei Temperaturen von -30° C der Kraftbedarf sich wesentlich erhöhte und die Faserschädigungen sowie der Pin-chip-Anteil stark zunahmen.

Neben den zuvor genannten Faktoren sind die Abmessungen des zu zerkleinernden Holzes von entscheidender Bedeutung. Bei der Hackung von kleinen Holzstücken, wie z. B. Spreißeln,

dürfte sich eine schlechtere Größenverteilung, höhere Faserschädigungen und eine schlechtere Zellstoffausbeute ergeben als bei der Hackung von Rundholz. Die Ergebnisse der Hackung von Schwarten dürften zwischen denen des Rundholzes und der Spreißel liegen.

3.2.4 Zusammenfassung

Aus dem vorangegangenen Kapitel ist als Ergebnis festzuhalten, daß die Qualität der Hackschnitzel hinsichtlich der Form für die zellstoff- und schlifferzeugende Industrie durch drei Merkmale gekennzeichnet ist:

- Länge der Hackschnitzel
- Dicke der Hackschnitzel
- Stauchschadenfreie Schnittflächen

Die Länge der Hackschnitzel wird bei allen Hackertypen konstruktiv vorgegeben: bei Scheibenhackern ergibt sie sich aus der Höhe, um die das Messer über die Messerscheibe hinausragt, bei Trommelhackern durch Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel, Anzahl der Messer auf der Trommel und die Einlaufgeschwindigkeit sowie bei den Profilspanern durch die Gestaltung der Schneiden und die Vorschubgeschwindigkeit. Abweichungen nach unten und oben treten bei allen Hackertypen dann auf, wenn die Schneidaggregate stumpf bzw. nicht optimal aufeinander abgestimmt sind. Bei Trommelhackern variiert die Hackschnitzellänge außerdem bei diskontinuierlicher oder mengenmäßig zu hoher Holzzufuhr und Nachzerkleinerung am Sieb. Bei Scheibenhackern treten dann Abweichungen von der vorgesehenen Hackschnitzellänge auf, wenn der Freiwinkel

zu gering gewählt wurde. Tierische und pilzliche Vorschädigungen des Holzes verursachen ebenfalls eine Unterschreitung der vorgegebenen Hacklänge.

Die Dicke der Hackschnitzel läßt sich lediglich bei Profilspanern durch die Gestaltung der Messer direkt vorgeben. Bei der konventionellen Hackung nimmt die Hackschnitzeldicke ab, wenn der Winkel λ erhöht wird. Dieser ist seinerseits eine Resultante des Einlauf-, des Schneiden- und des Freiwinkels. Da beim Trommelhacker der Einlaufwinkel starken Schwankungen unterworfen ist, überträgt sich dies auch auf die Dicke der Hackschnitzel. Generell ist die Dicke der Hackschnitzel auch von den Festigkeiten des Holzes und damit von der jeweiligen Holzart abhängig.

Voraussetzung für stauchfreie Schnittflächen sind scharfe und gut aufeinander eingestellte Hackaggregate. Allgemein gilt, daß die Stauchschäden um so geringer sind, je kleiner der Kraftaufwand ist. Daraus ergibt sich, daß bei der Parallelhackung (Profilspaner), bei der der Kraftbedarf, in axialer Richtung geführt, gegenüber der konventionellen Hackung wesentlich geringer ist, mit weniger Faserschädigungen gerechnet werden kann. Geringe Stauchschäden ergeben sich bei kleinem Schneiden- und großem Einlaufwinkel. Die Auswirkungen der Feuchtigkeit auf Faserschädigungen scheinen von der sonstigen maschinellen Einstellung abhängig zu sein: Bei hoher Feuchtigkeit ist der Kraftaufwand gering, jedoch dringen Kompressionen tiefer in das Holz ein, während trockenes Holz stärkeren Kräften ausgesetzt ist, die sich jedoch nicht so stark ausbreiten können. Bei pilzlicher Schädigung des Holzes nehmen aufgrund der Festigkeitsverminderungen die Stauchschäden ebenfalls zu.

3.3 Zustand der Hackschnitzel

3.3.1 Besondere anatomische Eigenschaften von Sägerestholz

Nachdem im Abschnitt 3.2.3.3 die Einflüsse spezieller Eigenschaften des Holzes auf die Form der Hackschnitzel beschrieben worden sind, soll im folgenden die Bedeutung spezieller Holzeigenschaften für die Zellstoff- und Papierindustrie dargestellt werden. Dabei liegt das Schwergewicht auf den Besonderheiten, die sich durch die Verarbeitung von Schwarten und Spreißel, die aus dem äußeren Bereich des Rundholzes stammen, ergeben: FAHN (1974, 14 ff.) berichtet, daß die Faserlänge bei der Fichte vom Mark zum Splint zunimmt. Bereits früher stellten LIESE und AMMER (1958) eine Längenzunahme der Fasern vom Früh- zum Spätholz fest. Berücksichtigt man ferner, daß mit zunehmendem Alter die Jahrringe in der Regel enger werden, so ergibt sich, daß die äußeren Bereiche des Rundholzes einen prozentual höheren Spätholzanteil aufweisen. Damit dürfte die Faserlänge und Dichte von Hackschnitzeln aus Schwarten und Spreißel deutlich höher sein, als im inneren Teil des Holzes. Die höhere Dichte bedingt eine bessere Kocherauslastung, die größere Faserlänge günstigere Zellstoffeigenschaften.

Ferner ist der Anteil an Kern- und Splintholz für die Zellstoff- und Holzschliffindustrie von wesentlicher Bedeutung. Während Fichten-Rundholz etwa aus 40 % "Kernholz" und 30 % "Splintholz" besteht, dürften Hackschnitzel aus Restholz einen Splintholzanteil von über 80 % aufweisen. Das "Kernholz" der Fichte ist besonders dadurch gekennzeichnet, daß die verklebten Hoftüpfel eine Durchtränkung behindern. Daraus ergibt

sich, daß der Aufschluß von Resthölzern schneller und gleichmäßiger verläuft, wodurch hohe Ausbeuten und gute Festigkeiten des Zellstoffs und Holzschliffs erhalten werden können.

3.3.2 Die Feuchtigkeit als Qualitätseigenschaft der Hackschnitzel-----

3.3.2.1 Bedeutung der Hackschnitzelfeuchtigkeit für die Zellstoff- und Papierindustrie

Neben den anatomischen Eigenschaften bildet die Feuchtigkeit ein weiteres wesentliches Charakteristikum von Industrieholz. HATTON und KEAYS (1973) berichten zwar, daß die Feuchtigkeit beim chemischen Aufschluß keinen Einfluß auf die Qualität des Zellstoffs habe. Sie gehen jedoch dabei von Erfahrungen mit herkömmlichem Industrieholz aus, das bei einer angemessenen Lagerdauer Feuchtigkeitsschwankungen zwischen 40 und 50 % aufweist (KELLER, 1973, 46 ff.).

Beim Sägeresthholz dürfte die Feuchtigkeit oftmals unterhalb des Fasersättigungspunktes liegen, so daß besonders bei überdimensionierten Hackschnitzeln mit einem ungleichmäßigen Aufschluß zu rechnen sein wird.

Noch sehr viel kritischer sind die Zusammenhänge bei der Schliffherstellung zu betrachten: So berichten übereinstimmend BRECHT et al (1938), BRECHT und SCHUSTER (1954) und MONTMORENCY (1964), daß sich mit zunehmender Holzfeuchtigkeit der Faserlangstoffgehalt erhöht und sich das Entwässerungsverfahren verbessert. Diese sich auf die Frisch- bzw.

Initialfeuchtigkeit beziehenden Angaben treffen in abgeschwächter Form auch auf die Wiederbefeuchtung zu (KELLER, 1973, 80 ff.). Daraus ergibt sich, daß das Holz sowohl im Stein- als auch beim Hackschnitzelschliff einen möglichst frischen Zustand aufweisen bzw. hinreichend wieder befeuchtet werden sollte, wobei die Möglichkeit der Wiederbefeuchtung für das Hackschnitzelschliffverfahren günstiger zu beurteilen ist.

Ein Einfluß der Feuchtigkeit auf den spezifischen Energieaufwand im Schleifprozeß konnte aufgrund der komplexen Zusammenhänge von den zuvor genannten Autoren nicht eindeutig festgestellt werden.

KELLER (1973, 143 ff.) beobachtete, daß bei geringer Feuchtigkeit auch der Weißgrad des Holzes und des Schliffs gering war. Dabei handelt es sich jedoch weniger um einen direkten Zusammenhang zwischen dem Weißgrad und der Feuchtigkeit. Vielmehr deutet eine abnehmende Feuchtigkeit auf längere Lagerdauer und damit verbundene Schädigungen des Holzes hin.

3.3.2.2 Einflüsse auf die Feuchtigkeit des Hackschnitzelgutes

Die Feuchtigkeit des Hackgutes ist im wesentlichen von der Form des Holzes sowie der Art und den Umständen der Lagerung abhängig. KNELL (1968, 64 ff.) und KELLER (1973, 46 ff.) stellten fest, daß bei Schleifholz die Feuchtigkeit, je nach Splint- bzw. Kernholzanteil und sozialer Stellung des Baumes im Bestand, erheblichen Schwankungen unterworfen ist, jedoch keine Abhängigkeit zum Einschlagszeitpunkt festzustellen ist. Je größer der Durchmesser und die Länge des jeweiligen Rundholzes, um so langsamer geht die Trocknung vor sich. Dabei

ist von entscheidender Bedeutung, ob das Holz in oder ohne Rinde lagert. Aufgrund der Tatsache, daß unter hiesigen klimatischen Verhältnissen die stärkste Austrocknung während der Monate Mai - August erfolgt, gewinnt der Einschlagszeitpunkt in Kombination mit der Lagerdauer große Bedeutung: Während das von Oktober - Februar eingeschlagene Holz über den Winter praktisch keine Feuchtigkeitsveränderungen erfährt, kann im Mai eingeschlagenes Holz bis zum September weitgehend ausgetrocknet sein. Daneben sollten sich Abweichungen vom langjährigen Durchschnitt des Klimas, das Kleinklima des Lagerortes, die Losgröße und Exposition zum Teil sehr wesentlich auf den Verlauf der Austrocknung und damit den Feuchtigkeitsgehalt auswirken (s. auch TROST, 1930; NYLINDER, 1953 und DIETZ, 1966).

3.3.3 Pilzliche Schädigung der Hackschnitzel

3.3.3.1 Bedeutung der pilzlichen Schädigung des Hackschnitzelgutes

Durch Pilze und Bakterien wird die Holzsubstanz angegriffen und in unterschiedlichster Weise abgebaut. Dies kann sowohl am stehenden Baum als auch an lagerndem Rundholz bzw. Hackschnitzeln geschehen. Um die Betrachtung nicht zu weit auszuweiten, soll davon ausgegangen werden, daß das zur Untersuchung kommende Holz vor dem Einschlag gesund war und damit die Schädigungen am stehenden Stamme ausgeklammert werden können. Grundsätzlich sind Braun- und Weißfäule zu unterscheiden. Die Braunfäule baut die Zellulose und mit ihr verbundene Hemizellulose zunächst in Bruchstücke, dann vollkommen ab, während das Lignin zurückbleibt. Dagegen werden von Weißfäulepilzen alle Holzbestandteile einschließlich des

Lignins abgebaut. Über den Abbau der Holzsubstanz durch Pilze wird von vielen Seiten berichtet (s. u. a. BJÖRKMAN, 1958; v. PECHMANN, 1966 und ADOLF et al 1972). Jedoch ist es in den meisten Fällen nicht möglich, Schnittholz bzw. Hackschnitzel mit Sicherheit darauf anzusprechen, ob eine beginnende Pilzschädigung und wenn ja, in welchem Umfang vorliegt. Ein sicheres Anzeichen für pilzliche Schädigung ist die Verringerung der Dichte des Holzes. Daneben läßt sich Pilzbefall durch Farbreaktionen mit bestimmten Reagenzien sichtbar machen. Durch die pilzlichen Faserschädigungen verliert das Holz an Festigkeit, was bereits bei der Hackung des Holzes einen höheren Feinanteil und größere Faserschädigungen hervorruft.

Über die Auswirkungen der Weiß- bzw. Braunfäule, die oft gleichzeitig auftreten, auf die Zellstoff- und Schlifferzeugung, berichtet CHRISTIE (1979, 111 ff.) folgendes: Beim Sulfatverfahren sinken beim Einsatz von pilzgeschädigtem Holz die Zellstoffausbeute und die Festigkeit des Zellstoffs wesentlich ab, während der Chemikalienverbrauch stark zunimmt. Für die Holzschlifferzeugung gibt CHRISTIE ein Absinken des Weißgrades, geringere Ausbeuten und eine Verminderung aller Festigkeitswerte des Schlicfs mit zunehmendem Pilzbefall an. Dies steht auch in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von KELLER (1973, 118 ff.).

3.3.3.2 Einflüsse auf die pilzliche Schädigung der Hackschnitzel

Der pilzliche Abbau der Holzsubstanz ist von der Feuchtigkeits- und Temperaturentwicklung und damit u. a. vom Jahresklima abhängig: Für viele Pilze liegen bei einem Wasserge-

halt (F_u) zwischen 30 - 50 % und Temperaturen von 20 - 60° C gute Bedingungen zu ihrem Gedeihen vor. Dementsprechend findet im Winter kein pilzlicher Abbau statt, während ab dem Frühjahr bis in den Spätherbst bei günstigen Feuchtigkeitsverhältnissen hohe Abbauraten zu beobachten sind. Unter Berücksichtigung dieser Bedingungen üben Einschlagszeitpunkt, Lagerdauer, Lagerart allein oder in Kombination miteinander, wie bei der Feuchtigkeit, einen erheblichen Einfluß auf den pilzlichen Abbau aus. KELLER (1973, 219) beobachtete bei Schleifholz nach halbjähriger Lagerdauer einen Verlust von 2 - 4 % der Holztrockensubstanz, nach einjähriger Lagerung Verluste von 4 - 6 %. Da es sich beim Sägerestholz um die äußeren Teile des Rundholzes, den Splint, handelt, die nach den Ergebnissen von ADOLF et al (1972) am ehesten geschädigt werden, dürfte der Abbau der Holzsubstanz noch größer sein. Ferner wirkt sich der Berindungsgrad auf den Verlauf des pilzlichen Abbaus aus: Holz in Rinde ist nur über die Schnittflächen zu infizieren und verweilt länger oberhalb der kritischen Feuchtigkeit. Bei einer längeren Lagerung wird eine Feuchtigkeit erreicht und länger beibehalten, die den Pilzen optimale Bedingungen bietet. Entrindetes Holz bietet dagegen sofort Angriffsmöglichkeiten; der kritische Feuchtigkeitsbereich wird jedoch schneller durchschritten.

Diese für das Rundholz geltenden Überlegungen können jedoch nicht ohne weiteres auf die Lagerung von Hackschnitzeln übertragen werden, da bezüglich Feuchtigkeit, Temperatur und Beschaffenheit des Holzes gänzlich andere Bedingungen vorliegen: Hackschnitzel bieten im Gegensatz zum Rundholz eine größere Angriffsfläche, so daß sich die Ausbreitung der Sporen und Pilze schneller vollziehen kann. Bereits bei Be-

ginn der Lagerung im Pile wird bei oxydativen Vorgängen, hervorgerufen durch Mikroorganismen, Energie freigesetzt, wodurch sich die Temperatur erhöht. Von verschiedenen Autoren (z. B. HATTON, 1970; MESSMER und SERENTSCHY, 1978 u.a.m.) wird der typische Temperaturverlauf wie folgt beschrieben: Während der ersten drei Wochen steigen die Temperaturen differenziert nach Außen- und Innenbereich im Pile bis zu 60° C an, fallen dann leicht ab und konsolidieren sich in einem Bereich von 40 - 50° C. Hier liegt jedoch für viele thermophilen Pilze der optimale Befallsbereich. HULME (1979) stellt auf der Basis umfangreicher Literaturstudien die einzelnen Vorgänge bei der Hackschnitzellagerung und ihre Auswirkung auf die Qualität des Zellstoffs und Schliffs, auf die in Abschnitt 6 noch näher eingegangen wird, dar. BERGMAN und NILSON (1971) ermittelten bei einer dreimonatigen Lagerung von Kiefern Schnitzeln im Pile Holzverluste von bis zu 8 %. Diese pilzlichen Schädigungen führen zu erheblichen Ausbeute-, Weißgrad- und Festigkeitsverlusten beim Zellstoff (HATTON und HUNT, 1972).

3.3.4 Verunreinigungen der Hackschnitzel

3.3.4.1 Arten der Verunreinigung

Da die Zellstoff- und Schliffindustrie lediglich die Fasern des Holzes als Zielprodukt hat, gelten begleitende Partikel, welcher Form sie auch seien, als Verunreinigung. Daneben sind jedoch auch Veränderungen der Fasersubstanz von wesentlicher Bedeutung. Im vorigen Abschnitt wurde bereits die pilzliche Schädigung behandelt. Es existieren aber außerdem Einwirkungen auf die Faser, vorwiegend farblicher Natur, die keine direkte Faserschädigung bedeuten.

3.3.4.1.1 Rindenanteil

Die im Hackschnitzelgut enthaltene Rinde ist der als erster auffallende Störfaktor, der von der Zellstoff- und Holzschliffindustrie bemängelt wird. Die Rinde besteht im Gegensatz zum Holz nur zu einem geringen Teil aus Libriformfasern, sondern vorwiegend aus Sieb-, Kork- und Steinzellen. Ferner ist der Extraktstoffgehalt sehr hoch. Dieser besteht zu einem großen Teil aus Polyphenolen, die in der Regel wasserlöslich sind (SANDERMANN, 1956, 171). Außerdem ist der Ligninanteil wesentlich höher als im Holz. Aufgrund dieser Tatsache bereitet der Rindenanteil je nach Aufschlußverfahren bei der Herstellung von Zellstoff- und Holzschliff mehr oder weniger große Schwierigkeiten: Die phenolischen Extraktstoffe verursachen im Sulfitaufschluß durch Kondensationsvorgänge mit dem Lignin eine schlechtere Delignifizierung. Dies führt bei geringerem Rindenanteil zu einem höheren Anfall von Splintern, damit zu schlechteren Ausbeuten und einer dunkleren Farbe des Zellstoffs, bei hohem Rindenanteil zur Schwarzkochung, wobei kein vermarktbarer Zellstoff erhalten wird. Bei dem alkalischen Sulfatverfahren ist diese Gefahr geringer. Jedoch nimmt der Chemikalienverbrauch mit zunehmendem Rindenanteil zu und die Ausbeuten wesentlich ab. Letzterer Effekt wird durch die Außenrinde (Borke) noch verstärkt. Ferner verschlechtern sich die Festigkeitseigenschaften und das Entwässerungsvermögen des Zellstoffs. Schließlich verursacht der Extraktstoffgehalt höhere Aufwendungen bei der Bleiche und Waschung.

3.3.4.1.2 Verfärbungen

Die Farbe des Holzes ist für die Zellstoff- und Holzschliff-industrie insofern von besonderer Bedeutung, da sich Helligkeit und Weißgrad der daraus erzeugten Produkte (Zellstoff, Schliff) nach MELTZER (1966, 67 ff.) in einem direkten Zusammenhang stehen und der Weißgrad ein wesentliches Qualitätskriterium für Zellstoff und Holzschliff ist. Die Farbe des Holzes hängt nach MELTZER (1966, 38 ff.) vorwiegend von der Holzart, dem Holzaufbau und der Feuchtigkeit ab. So ergibt z. B. die Variation von Früh- und Spätholz den allseits bekannten Effekt des Jahrrings. Diese Erscheinungen sind jedoch nicht Gegenstand der Betrachtungen, sondern vielmehr Verschlechterungen der Holzfarbe während der Bereitstellung.

Hervorgerufen werden diese Verfärbungen neben dem Vergrauen durch Lichteinwirkungen vor allem durch den Befall von Bakterien und niederen Pilzen. Bekannteste Erscheinungsformen sind das Verblauen und die Rotstreifigkeit. Die Verblauung von Kiefern, aber auch anderen Nadel- und Laubhölzern, hervorgerufen durch Ascomyceten, bedingt eine bläuliche Verfärbung des Holzes, während die Holzsubstanz nur in geringem Umfang angegriffen wird. Die Rotstreifigkeit wird vor allem durch Pilze der Gattung Sterium hervorgerufen, sie verfärben das Holz rötlich-braun und bauen zunächst, im Gegensatz zur Braunfäule, die Zellulose nur im geringen Maße ab. Die Ausdehnung der Rotstreifigkeit erfolgt auch wesentlich langsamer, geht dann aber in eine Braunfäule über (s. PECHMANN et al, 1967). Die Abgrenzung zwischen Rotstreifigkeit als reine Verfärbung und Braunfäule, bei der zusätzlich eine pilzliche Schädigung der Faser auftritt, ist mit dem Auge allein nicht möglich.

Neben den Verfärbungen verursacht durch Mikroorganismen, dunkelt das Holz, wenn es längere Zeit der Luft, Feuchtigkeit und Licht ausgesetzt ist, aufgrund oxydativer und photomechanischer Prozesse.

Daneben ist bei der Lagerung von unentrindetem Holz in sehr feuchtem Zustand die Auswaschung von phenolischen Inhaltsstoffen der Rinde zu beobachten, wodurch die Oberfläche des Holzes verfärbt wird (ULLEVALSETTER, 1965). Obwohl diese Verfärbungen nicht sehr tief in das Holz eindringen, sind sie, besonders bei dünnen Industrieböhlern und Sägereestholz, von Bedeutung. Jegliche Verfärbungen des Holzes bedeuten eine dunklere Färbung des Zellstoffs bzw. des Schlicfs. Dies bedingt bei vorgegebenem Weißgrad des Endprodukts einen höheren Bleichaufwand bzw. die Notwendigkeit, hochgebleichten Zellstoff zuzusetzen.

3.3.4.1.3 Sonstige Verunreinigungen

Hierzu sind all die Bestandteile zu zählen, die neben der Rinde im Laufe des Bereitstellungsprozesses als Fremdstoffe in das Hackschnitzelgut einfließen: Die Rinde enthält meist infolge der Lagerung noch einen mehr oder weniger großen Anteil an mineralischen Stoffen wie Sand und kleine Steine; während der Beladung der Transportmittel geraten manchmal Steine und Metallteile in das Hackschnitzelgut. Hiermit werden oftmals auch die Vorbehalte der Zellstoff- und Papierindustrie gegenüber dem Sägereestholz begründet; denn diese Verunreinigungen bedingen separate Reinigungsprozesse und führen zu Schäden an den Transportmitteln bei der Hackschnitzelaufarbeitung.

3.3.4.2 Ursachen für die Verunreinigung des Hackschnitzelguts

Die Verunreinigungen des Hackschnitzelguts sind weitgehend von den Faktoren, die in ihrer Gemeinsamkeit die Bereitstellungsmodalitäten charakterisieren, abhängig. Grundsätzlich sind dies bei der Feuchtigkeit und den pilzlichen Schädigungen im wesentlichen Einschlagszeitpunkt, Lagerdauer und die damit verbundenen klimatischen Gegebenheiten.

In bezug auf den Rindenanteil bedeutet dies u. a., daß im Sommer, wenn das Kambium aufgrund der oftmaligen Teilungsvorgänge recht weich ist, bessere Entrindungsergebnisse erzielt werden als im Frühjahr bei beginnendem Wachstum oder im Winter, wenn die Rinde fest an das Holz angefroren ist. Frisch geschlagenes Holz läßt sich besser entrinden als Holz mit fest angetrockneter Rinde, während durch Fäulnisvorgänge bei feuchter Lagerung der Entrindungswiderstand verringert wird. ERICKSON (1979, 145 ff.) beschreibt die verschiedenen Entrindungsverfahren und deren Auswirkung auf die Entrindungsqualität. Für die vorliegende Untersuchung sind wegen ihrer Bedeutung in der Praxis die Hand- und Rotorentrindung von besonderem Interesse. Dabei wird letzteres Verfahren sowohl im Wald mit Hilfe von mobilen Anlagen als auch auf den den Werken vorgeschalteten Rundholzplätzen durchgeführt. Hinzu kommt noch bei den mobilen Anlagen im Wald die schneidende Entrindung, wie sie z. B. bei dem Entrindungs- und Entastungsgerät ETE zu beobachten ist. LEINERT (1969) und GRAMMEL (1969) verweisen unter Kosten- und Qualitätsgesichtspunkten auf die Vorteile der Entrindung im Werk. Die Handentrindung ist teuer, wobei zusätzlich noch ein großer Teil des Bastes am Stamm verbleibt. Für alle Arten der Waldentrindung gilt, daß das Holz schon zu einem früheren Zeitpunkt freigelegt wird; damit können pilzliche Schädigungen eintreten und

während des Transports Verunreinigungen vor allem durch Mineralien erfolgen. Die Werksentrindung bedingt jedoch entweder einen raschen Materialfluß vom Wald ins Werk oder bei längerer Lagerung im Wald Schutz des Holzes in Rinde gegen rindenbrütende Insekten. Bei gleicher Entrindungstechnik sind jedoch zwischen Werks- und Waldentrindung erhebliche Qualitätsunterschiede zu erwarten. Diese Unterschiede dürften beim Sägerestholz besonders stark bemerkbar sein: Verbleibt von dem durchschnittlichen Rindenanteil von 10 % bei Fichte (DIETZ, 1975) durch unvollkommene Entrindung noch 3 % am Rundholz, so ergibt sich bei einer angenommenen Ausbeute von 70 % an Haupt- und Nebenprodukten ein Rindenanteil von 10 % im Restholz.

Zur Verringerung der Verfärbungen ist das Rundholz und das Hackschnitzelmaterial möglichst kurz zu lagern. Eine Verkürzung der Rundholzlagerung ist jedoch in der Sägeindustrie bislang noch mit Schwierigkeiten verbunden, zumal, da die Lagerdauer für das Hauptprodukt unter Qualitätsbedingungen meist nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Um die Beimischung von Fremdkörpern zu verhindern, ist es wahrscheinlich notwendig, das Restholz als ein bewußtes Produkt aufzufassen. Grundvoraussetzung hierzu sollte die grundsätzliche Trennung von Hackschnitzeln und Abfallstoffen sein.

3.3.5 Zusammenfassung

Die im vorausgegangenen Kapitel angestellten Recherchen haben ergeben, daß folgende den Zustand der Hackschnitzel betreffenden Eigenschaften für die Zellstoff- und Holzschliffindustrie von besonderer Bedeutung sind:

- anatomische Besonderheiten des Sägerestholzes
- Feuchtigkeit
- pilzliche Schädigungen
- Rindenanteil
- Verfärbungen

Hackschnitzel aus Sägerestholz dürften durch eine höhere Dichte und größere Faserlänge ausgezeichnet sein. Daraus resultieren höhere Ausbeuten und eine größere Faserlänge bei der Zellstoff- und Holzschliffherstellung.

Eine niedrige Feuchtigkeit der Hackschnitzel beeinträchtigt je nach Art des Faserstoff-Herstellungsverfahrens die Imprägnierung unterschiedlich stark, wodurch die Prozeßzeit verlängert wird und die Ausbeuten u. U. absinken. Die Feuchtigkeit des Hackschnitzelmaterials ist abhängig von der Holzdimension, der Lagerart und Lagerdauer.

Bei Pilzbefall wird die Zellulose und (oder) das Lignin abgebaut, wodurch die Ausbeute und Qualität der Faserstoffe absinkt. Basierend auf dem engen Zusammenhang zwischen Pilzwachstum und den beiden Größen Temperatur und Feuchtigkeit werden pilzliche Schädigungen des Hackschnitzelgutes durch Lagerart (z. B. Rundholz- bzw. Hackschnitzzellagerung), Lagerbedingungen und Lagerdauer wesentlich beeinflusst.

Die Rinde bereitet vor allem im einfachen Sulfitverfahren Schwierigkeiten beim Aufschluß, erhöht den Chemikalienverbrauch und vermindert die Faserstoffqualität. Der Rindengehalt dürfte abhängig sein von Holzdimension, Entrindungsart und Entrindungszeitpunkt.

Verfärbungen werden durch Auswaschungen von Rindengerbstoffen bei Lagerung in Rinde, durch oxydative Vorgänge bei der Lagerung ohne Rinde, durch niedere Pilze (Bläue) und Verschmutzungen auf dem Weg der Bereitstellung des Rundholzes hervorgerufen. Art, Dauer und Zeitpunkt der Entrindung und Lagerung sowie die Holzdimension beeinflussen damit das Maß der Verfärbungen.

3.4 Übersicht der zu untersuchenden Hackschnitzeeigenschaften und ihre Abhängigkeit

Nachdem zuvor in den Abschnitten 3.2 ff. und 3.3 ff. die einzelnen wertbestimmenden Eigenschaften des Sägerestholzes mit ihrem Beziehungsgefüge diskutiert worden sind, stellt Tabelle 2 als Ergebnis dieser Erörterungen die wesentlichsten zu untersuchenden Beziehungen dar. Dabei wurde unter dem Gesichtspunkt der Übersichtlichkeit darauf verzichtet, alle Interdependenzen zwischen den Eigenschaften des Restholzes darzustellen. Ferner ist dieses Beziehungsgefüge in das zuvor bereits festgelegte Untersuchungsprogramm bezüglich der zu untersuchenden Betriebstypen: Waldentrindung - Werksentrindung, Gattersägewerk - Profilspannerwerk, Trommelhacker - Scheibenhacker - Profilspanner, einzuordnen.

Tabelle 2: Eigenschaften des Sägerestholzes und die sie beeinflussenden Faktoren

Feuchtigkeit	Rundholzdimension Einschlagszeitpunkt Lagerdauer (Jahreszeit) Entrindungszeitpunkt
Rindenanteil	Rundholzdimension Entrindungsaggregat Lagerdauer Entrindungszeitpunkt Dimension des Hackgutes
Weißgrad	Rindenanteil Feuchtigkeit Pilzbefall
Fraktionsverteilung	Hackerart Messerstandzeit Dimension des Hackgutes Feuchtigkeit Pilzbefall
Faserschädigungen	Hackerart Messerstandzeit Dimension des Hackgutes Feuchtigkeit Pilzbefall
Pilzbefall	Lagerdauer Rindenanteil Entrindungszeitpunkt Jahreszeit

4. BESTIMMUNG DER HACKSCHNITZELEIGENSCHAFTEN UND DER SIE BEEINFLUSSENDE FAKTOREN

Wie in Absatz 2.4 dargestellt, sollten aus der laufenden Produktion von Sägewerken der in Abschnitt 2.2.2 und 3.2.3 definierten und festgelegten Betriebstypen Hackschnitzel entnommen werden, wobei zuvor Bereitstellungs-, Einschnitts- und Hackungsmodalitäten zu erheben sind, und an ihnen die in Abschnitt 3.4 festgelegten Eigenschaften und die sie beeinflussenden Faktoren untersucht werden.

4.1 Versuchsmethodik

4.1.1 Auswahl der Betriebe

Nachdem in Abschnitt 2.2.2 die Betriebstypen durch Unterscheidung nach Entrindungsort (Wald- bzw. Werksentrindung) und Hackertyp (Trommelhacker, Scheibenhacker, Profilspanner) festgelegt worden sind, mußten Sägewerksbetriebe, auf die diese Auswahlkriterien zutrafen, ausgewählt werden. Dabei hätte es ein Ziel sein können, einen repräsentativen Querschnitt durch die Sägeindustrie zu bilden. Danach wäre dem Betriebstyp (I) "Gattersägewerk-Waldentrindung" das größte Gewicht zugefallen. Da aber die meisten Betriebe dieses Betriebstyps das Restholz in Form von Großbunden aufarbeiten und bei anderen der Materialfluß eine gezielte Untersuchung nicht zuließ, verblieb nur noch eine geringe Anzahl von Betrieben, die sich zur Untersuchung anboten. Damit war sowohl eine systematische Auswahl der Betriebe als auch eine angemessene Berücksichtigung aller Fabrikate der einzelnen Hackertypen nicht möglich. Um dennoch zum einen den angestrebten Querschnitt durch die Sägewerkstechnologie zu er-

halten, und andererseits den Versuchsumfang auf ein vertretbares Maß beschränken zu können, wurden pro Betriebstyp drei Betriebe ausgewählt, Bei den Gattersägewerken berücksichtigte man jeweils zwei Betriebe mit Trommelhacker und einen Betrieb mit Scheibenhacker.

Bei der Auswahl der Betriebe war es ferner notwendig, zu gewährleisten, daß in allen Betrieben bezüglich der Zielgrößen des Hackschnitzelmateri als die gleichen Voraussetzungen herrschten, d. h. vor allem die "Ziel-Hacklänge" mußte gleich sein. Dabei ergab sich, daß dies mit einer Hackschnitzellänge von 25 mm am ehesten zu gewährleisten war.

Während bei Profilspanern und Scheibenhackern die Messereinstellung allein die Hacklänge bestimmt, wird diese bei Trommelhackern zusätzlich durch die Lochung der in den Hackern verwandten Siebe bestimmt. Im vorliegenden Fall wurden in allen Betrieben Siebe mit einer Lochung von 50 x 50 mm eingesetzt. Durch diese Beschränkung auf 25 mm lange Hackschnitzel ergab sich als weiterer Effekt, daß alle untersuchten Betriebe die Hackschnitzel an Zellstoff- bzw. TMP-herstellende Werke lieferten.

Die technische Ausstattung der untersuchten Betriebe bezüglich der Hack- und Entrindungsaggregate ist in Tab. 3 aufgeführt, wobei die Betriebe 1 - 3 als Betriebstyp I, "Gattersägewerke mit Waldentrindung", 4 - 6 als Betriebstyp II, "Gattersägewerke mit Werksentrindung", und 7 - 10 als Betriebstyp III, "Profilspanerwerke" klassifiziert sind.

Tab. 3: Entrindungs- und Hacktechniken in den untersuchten Betrieben

Hacker- bzw. Einschnittsmaschine			Entrindungsaggregat							
Betr.	Art	Firma	Typ	An- schlußl.	Mes- serz.	Firma	Typ	Mes- serz.	Durchl.	leist. Antriebsm.
1	TH	Vecoplan	45/16/2	37	2					
2	SH	Silvac	max. 700 TM / F	37	2					
3	TH	Vecoplan	45/16/2	37	2					
4	TH	Klückner	HZM 700x250- 5 + 4 WF	81	2	Limbac ¹⁾	45	5	45	85
5	TH	Klückner	160x180x 1200	70	3	Cambio	70-66BA	5	66	30
6	SH	Bruks	1500 M	90	3	Valon Kone	26 T	8		10
7	PS	Linck	V 25	2 x 37	2 x 2	Linck/ Esterer	730	6	70	70
8	PS	Linck	V 40	2 x 75	2 x 3	Cambio	71-45CA	5	45	15
9	PS	Linck	V 25	2 x 37	2 x 2	Cambio Valon Kone	71-45CA 26 T	5 8	45 650	32 30
10	PS	Kockums	E 12	90	2 x 64 ²⁾	Cambio	70-35AA	5	35	15

TH = Trommelhacker
PS = Profilspanner
SH = Scheibenhacker

1) Entastungs- und Entrindungsaggregat
2) 2 Spiralen/Hackscheibe

4.1.2 Rundholzeigenschaften

Bei den Holzeigenschaften sind nach Abschnitt 3.2.3.3 und 3.3.1 folgende Charakteristika zu berücksichtigen:

- Holzart
- Dimension
- Jahrringaufbau
- Astigkeit
- Entrindungsqualität
- Verfärbungen der Stirn- und Mantelflächen

Da man sich bezüglich der Holzart bereits zuvor auf Fichte beschränkt hatte, entfiel eine Holzartenbestimmung. Die Dimension des Rundholzes ergibt sich aus den dem Säger vorliegenden Holzlisten. Daneben wurde die durchschnittliche Stärkeklasse des Loses nach HKS (1974)¹⁾, aus dem der Gattersatz stammte, aufgenommen. Bei den einzelnen Sägeabschnitten maß man Länge, Zopf-, Mitten- und Fußdurchmesser.

Der Jahrringaufbau wird durch die Jahrringbreite und den Früh- bzw. Spätholzanteil charakterisiert. Für eine exakte Bestimmung der beiden Merkmale wäre eine Untersuchung von Stammscheiben des Fuß- und Zopfendes im Labor notwendig gewesen, wobei im Rahmen dieses Vorhabens lediglich die Beschaffenheit des Jahrrings in der äußeren Zone von Bedeutung gewesen wäre. Da dieses Verfahren jedoch in der Praxis nicht durchführbar war, beschränkte man sich darauf, lediglich im äußeren Bereich die Jahrringbreite, unterteilt in die drei Kategorien "feinjährig" (< 2 mm), "normaljährig" (2 - 4 mm)

¹⁾ HKS = Handelsklassensortierung für Rundholz

und "grobjährlig" (>4 mm), anzusprechen. Eine Untersuchung des Früh- bzw. Spätholzanteils war unter den gegebenen Bedingungen ebenfalls nicht möglich. Das Merkmal Astigkeit setzt sich aus den drei Größen "Anzahl", "Dimension" und "Zustand" der Äste zusammen. Diese Größen für alle Äste eines Gattersatzes zu erheben, erschien aufgrund des hohen Aufwands und der Tatsache, daß lediglich die durchschnittliche Astigkeit von Interesse war, nicht sinnvoll. Daher beschränkte man sich darauf, die Astanzahl auf dem bei der Anlieferung zum Einschnittsaggregat sichtbaren Teil des Mantels (ca. $1/3$ der Mantelfläche) in Form einer Strichliste zu erfassen; die Astdimension wurde in zwei Klassen "feinastig" (<2 cm) und "grobastig" (>2 cm) eingeteilt; bezüglich des Astzustandes wurde in Lebend- und Totast unterteilt, wobei in Zweifelsfällen die Äste aufgehauen wurden.

Die Entrindungsqualität ist ebenfalls keine direkt meßbare Größe und konnte daher nur als relative Abstufung angesprochen werden. Dies stellte aber keinerlei Mangel dar, da der exakte Rindenanteil später bei den Hackschnitzeln ermittelt wurde. Sie erschien jedoch unter dem Aspekt wertvoll, da sie erste Anhaltspunkte für den Rindenanteil lieferte. Die Entrindungsqualität unterteilte man in vier Kategorien:

- | | |
|---------------|--|
| 1 = gut: | nur kleinere Bast- und Rindenrückstände, |
| 2 = mittel: | teilweise bleiben größere Rindenpartikel
am Rundholz, |
| 3 = schlecht: | größere Flächen des Stammes bleiben unent-
rindet. |

Verfärbungen deuten auf Pilzbefall oder sonstige Veränderungen (Oxydation) hin. Diese treten vor allem wiederum an Stirn- und Mantelfläche auf. Dabei sind verschiedenartigste

Verfärbungen zu unterscheiden, die z. T. bereits auf die Ursachen hinweisen. Da zur Erfassung von Verfärbungen des Rundholzes keine praktikablen Meßverfahren vorhanden sind, können die Verfärbungen somit wiederum nur relativ und nach den verschiedenen Arten unter Hindeutung auf die Ursachen erhoben werden. Hierzu bot sich an, die Größen "Rotstreifigkeit", "Bläue" und die restlichen Verfärbungen zusammen unter "Sonstige Verfärbungen" zu unterscheiden, wobei die Abstufung nach den Kategorien "gering", "mittel" und "stark" erfolgte.

4.1.3 Bereitstellungsmodalitäten

Die Bereitstellungsmodalitäten umfassen die Größen, die auf die Rundholzeigenschaften vom stehenden Stamm bis zur Einschnittsmaschine im Sägewerk einwirken (s. Abb. 4). Bei den Bereitstellungsmodalitäten waren grundsätzlich folgende Merkmale zu unterscheiden:

- Einschlagszeitpunkt
- Lagerdauer
- Lagerart
- Verarbeitungszeitpunkt

Zur exakten Ermittlung der Bereitstellungsmodalitäten wäre es notwendig gewesen, das Stammholz vom Ort der Fällung bis zum Sägewerk zu verfolgen, womit dann auch alle wesentlichen Faktoren erhoben worden wären. Dies war jedoch aus organisatorischen Gründen nicht möglich. Es galt also, im Verarbeitungszeitpunkt die Bereitstellungsmodalitäten retrograd zu ermitteln. Zur retrograden Ermittlung des Einschlagszeitpunktes bot sich zum einen die Möglichkeit, anhand der Stammnum-

mern durch Nachfragen bei den entsprechenden Forstämtern den Einschlagszeitpunkt zu erkunden. Dieses Verfahren ließ sich jedoch nur dann anwenden, wenn der Gattersatz des Versucheinschnitts aus einem Los stammte, die Herkunft des Loses bekannt war und dieses Los wiederum bezüglich des Einschlagszeitpunktes einheitlich zusammengestellt war. Diese Voraussetzungen waren jedoch meist nicht vollständig gegeben. Daher wurde zusätzlich der Einschlagszeitpunkt durch Beurteilung des Aussehens der Bloche eingeschätzt. Wenn dieses Vorgehen auch nicht unbedenklich ist, da bei diesem Verfahren sehr leicht Merkmale, deren Abhängigkeit von Lagerdauer und Einschlagszeitpunkt untersucht werden sollte, die Entscheidung wesentlich beeinflussen können, so lieferte es doch oft wertvolle Informationen über den Einschlagszeitpunkt. Bei, bezüglich des Einschlagszeitpunktes, gemischten Losen erfolgte mit dem gleichen Mittel eine Schwerpunktbildung. Durch Einschlags- und Verarbeitungszeitpunkt war somit auch die Lagerdauer bestimmbar.

Die Art der Lagerung - im Bestand oder auf der Freifläche, Größe des Loses, Exposition und sonstige Faktoren - wäre, wie den Ausführungen von KELLER (1973) zu entnehmen ist, von Bedeutung gewesen. Hierzu ergaben jedoch die Vorversuche (HEUGEL und GEIGER, 1977; FRIEMEL und PEISERT, 1978), daß sowohl die Angaben der Säger als auch der Forstämter keine quantifizierbaren Informationen vermitteln.

4.1.4 Einschnitts- und Hackungsmodalitäten

Die Einschnittsmodalitäten sind durch die Festlegung der Vor- und Nachschnittsmaschinen a priori vorgegeben. Den Zustand der Schneidwerkzeuge dieser Maschinen jeweils zu erfassen,

wurde nicht realisiert, da, wie die Vorversuche zeigten, dieser in einem sehr engen Rahmen schwankte und damit gravierende Auswirkungen auf die Hackschnitzelqualität ausgeschlossen werden konnten. Ferner mußte die Dimension des Rundholzes und das vorgesehene Einschnittsprogramm erfaßt werden, da beide zusammen den mengenmäßigen Anfall und die Form des Sägerestholzes bestimmen. Die Dimension wurde in Form der Länge sowie der Zopf-, Mitten- und Fußdurchmesser ermittelt. Diese dreifache Messung des Durchmessers sollte detaillierte Informationen über die Form des Restholzes ermöglichen. Aus dem gleichen Grunde wurden auch die Abmessungen der aus dem Rundholz zu erzeugenden Haupt- und Nebenprodukte erhoben. Besonderheiten beim Einschnitt, von denen Auswirkungen auf die Hackschnitzelqualität erwartet wurden, wie z. B. vereistes Holz, ließen sich speziell im Versuchsprotokoll erfassen.

Bezüglich der Hackmaschinen gilt das bereits oben zu den Einschnittsmaschinen gesagte. Da jedoch der Zustand der Aggregate in einem direkten Zusammenhang mit der Hackschnitzelqualität steht, wurden die Messerstandzeiten, unterteilt in halbe Tage, aufgenommen. Dabei wäre es sinnvoll gewesen, die Leistung der Messer während dieser Zeit exakt in m^3 Restholz ermitteln zu können. Dies hätte bedingt, daß die seit dem letzten Messerwechsel vor dem Versuch gehackten Restholzmen gen genau erfaßt worden wären. Jedoch war dies zeitlich nicht möglich. Um dennoch annäherungsweise Kenntnis über die bereits erbrachte Leistung der Messer zu erhalten, wurde, unter Zugrundelegung der durchschnittlichen Einschnittsleistung, die effektive Arbeitszeit erfragt, und diese als Messerstandzeit angegeben.

4.1.5 Auswertungsmethodik

Nachdem in Abschnitt 3 die einzelnen Eigenschaften des Hack-schnitzelmateri als, die für eine Verwertung der Zellstoff- bzw. TMP-Herstellung relevant sein könnten, hergeleitet worden sind, gilt es im folgenden, die Verfahren, die in der vorliegenden Untersuchung zu ihrer Bestimmung am günstigsten sind, zu ermitteln.

4.1.5.1 Bestimmung der Feuchtigkeit

Als ein wesentliches Merkmal war die Feuchtigkeit des Hack-schnitzelmateri als zu bestimmen. Dabei erschien es notwendig, die Feuchtigkeit des Holzes und der Rinde getrennt zu ermitteln, da bei unterschiedlichen Feuchtigkeiten von Holz und Rinde der Rindenanteil variiert. Als Bestimmungsmethodik bot sich das Darrverfahren nach DIN 52 183 an (DIN, 1952), bei dem das Material bei $103 \pm 2^{\circ}$ C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet wird. Aus der Differenz zwischen Trocken- (G_o) und Feuchtgewicht (G_u) lassen sich dann nach folgender Formel der Wassergehalt (F_u) bzw. die Feuchtigkeit (F_o) errechnen:

$$F_u = \frac{G_u - G_o}{G_u} \times 100$$

$$F_o = \frac{G_u - G_o}{G_o} \times 100$$

Für die vorliegende Untersuchung wurde der Wassergehalt als relevante Größe zur Charakterisierung der Feuchtigkeit gewählt, da er als Komplementärwert zum Trockengehalt T angibt,

welcher Anteil des Restholzes Wasser ist. Aus diesem Grunde wird der Wassergehalt auch als Arbeitsgröße in der Zellstoff- und Papierindustrie verwandt.

Während die Darmmethode für derartige Untersuchungen am Holz unumstritten das günstigste Verfahren ist, war für die Rinde zu klären, ob bei den geringen Rindenmengen und deren hohem Anteil leichtflüchtiger ätherischer Öle eine Trocknung bei Temperaturen von über 100°C das Ergebnis nicht verfälschen würde. Die elektrische Widerstandsmessung schied wegen des meist hohen Wassergehalts und der geringen Partikelgröße der Rinde als Vergleichsverfahren aus. Daher wurden in einem Vorversuch größere Rindenpartikel in zwei Stücke zerteilt, wovon ein Teil gedarrt, das andere in einem Exsikator über Phosphorpentoxyd (P_2O_5) bei Vakuum getrocknet wurde. Die dabei ermittelten Unterschiede lagen meist unter 1 % und konnten statistisch nicht abgesichert werden. Ferner dauerte die chemische Trocknung je nach Rindenmenge bis zu 5 Tagen und ein Verdampfen der ätherischen Öle kann bei der Erzeugung eines Vakuums ebenfalls nicht ausgeschlossen werden. Daher wurde der Wassergehalt der Rinde ebenfalls nach der Darmmethode bestimmt. Dies kann jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, daß die Ermittlung der Gewichtskonstanz im Falle der Rinde recht problematisch ist und sehr viel Intuition bedarf.

4.1.5.2 Bestimmung des Rindenanteils

Hierbei mußte die im Hackschnitzelgut enthaltene Rinde vom Holzanteil getrennt werden. Dabei ist davon auszugehen, daß die Rinde nur zu einem Teil in Form reiner Rindenpartikel vorliegt. Vielmehr bestehen einzelne Hackschnitzel oftmals

aus Rinde und Holz. Zur Trennung von Rinde und Holz bei Hackschnitzeln werden seit Jahren für den industriellen Prozeß verschiedenste Verfahren angeboten (s. ERICKSON, 1972). Da jedoch davon auszugehen ist, daß diese industriellen Verfahren nicht mit 100 %-iger Sicherheit arbeiten, eignen sie sich nicht für eine Laboranalyse. Daher wurden Rinde und Holz mit der Hand separiert: Bei Hackschnitzeln, an denen noch Rinde bzw. Bast hafteten, wurden diese mit dem Messer vom Holz getrennt. Dies entspricht auch dem Vorgehen von HATTON (1975 a, 12).

4.1.5.3 Bestimmung des Weißgrades

Zur Ermittlung der Helligkeit des Holzes bot sich an, in Anlehnung an MELTZER (1966), KNELL (1968) und KELLER (1973) den "Weißgrad" (WG_H) zu bestimmen. Hierbei werden aus Holzspänen unter definierten Bedingungen "Tabletten" gepreßt und mit dem Elrepho-Remissionsgerät der Weißgrad bestimmt. Das Elrepho-Remissionsgerät, ein in der Zellstoff- und Papierindustrie verwendetes Gerät, vergleicht die Helligkeit des zu prüfenden Stoffes mit der des Magnesiumoxyds. Im Gegensatz zu den Untersuchungen der oben genannten Autoren, die den Weißgrad von Faser-Rundholz untersuchten, zeigte sich in einem Vorversuch (s. HEUGEL und GEIGER, 1977), daß bei Hackschnitzeln der Anteil der benötigten Feinfraktion (> 20 mesh) nicht ausreicht. Es war daher erforderlich, das benötigte Feingut aus den untersuchten Hackschnitzeln schonend herzustellen. Dies erfolgte in zwei Stufen mit Hilfe einer Schneide- und einer Pralltellermühle. Um die schonende Zerkleinerung zu unterstützen, wurden beide Maschinen nur sehr vorsichtig beaufschlagt. Das weitere Vorgehen erfolgte nach der von MELTZER (1966) und KELLER (1973, 36 f.) beschriebenen Methode.

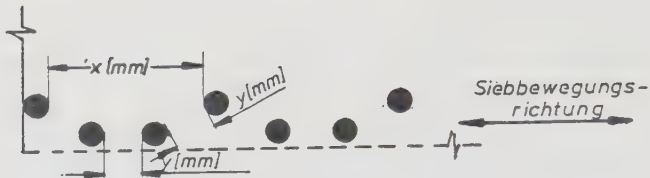
4.1.5.4 Bestimmung der Fraktionsverteilung

Die Fraktionierung hat zum Ziel, das Hackschnitzelmaterial gemäß den Ausführungen in Abschnitt 3.2.1 nach Länge und Dicke der Hackschnitzel zu sortieren. Dementsprechend ergeben sich folgende fünf Fraktionen:

- Fraktion 1: Schnitzel mit zu großer Breite, Länge und Dicke (F1),
- Fraktion 2: überdicke Schnitzel (F2),
- Fraktion 3: ideale Schnitzel bezüglich Länge und Dicke (F3),
- Fraktion 4: Schnitzel mit angemessener Länge, aber zu geringer Breite bzw. Dicke, "Pin-chips" (F4),
- Fraktion 5: Feinanteil (F5).

WILLIAMS (1938) entwickelte eine Kombination von verschiedenen Rundlochsieben, wobei die einzelnen Siebe eine Lochung von $1 \frac{1}{8}$, $\frac{7}{8}$, $\frac{5}{8}$, $\frac{3}{8}$ und $\frac{3}{16}$ inch aufwiesen. Jedoch schwankt die Dicke der Hackschnitzel in den einzelnen Fraktionen recht erheblich. So entwickelte HARTLER (1965) ein Fraktionsverfahren, bei dem die Hackschnitzel ein System von Streifensieben mit unterschiedlichen Spaltabständen passierten. Da sich bei diesem Verfahren die Schnitzel nicht aufrichteten, blieben die Ergebnisse, besonders bei breiten Schnitzeln, unbefriedigend. Um diesen Mangel zu beheben, verwendete LUNDQUIST (1967) zur Trennung der Fraktionen F2 und F3, bei denen das zuvor beschriebene Problem besonders gravierend war, ein Streifensieb, in dem jeder 3. Stahlstab parallel versetzt war, so daß sich zwei Stabreihen ergaben (s. Abb. 14).

Abb. 14: Konstruktion des Streifensiebs nach
LUNDQUIST (1967)



für Nadelholz-Hackschnitzel: $x=38\text{mm}, y=10\text{mm}$
für Laubholz-Hackschnitzel: $x=32\text{mm}, y= 8\text{mm}$

Ein ähnliches Problem ergab sich beim Ausscheiden streichholzförmiger Pin-chips aus der Fraktion F2. Damit die Pin-chips das Sieb schnell und einwandfrei passieren können, empfehlen EDBERG und ESKILSSON (1972) und HATTON (1975 c), das Sieb mit möglichst vielen Löchern auszustatten, um so den Abstand zwischen den Löchern möglichst gering zu halten, sowie möglichst viel Material aufzugeben, damit die Hackschnitzelschicht die Stifte senkrecht und damit günstig für die Fraktionierung ausrichtet.

Entsprechend dem zuvor gesagten, wurden in Kanada (HATTON, 1979) und Schweden (WENNBERGS, 1966) Siebkombinationen und Fraktioniergeräte entwickelt, die meist nur in Details voneinander abweichen. Die Ausgestaltung des für die vorliegende Untersuchung verwendeten Fraktioniergerätes ist in den Abb. 15 und 16 dargestellt. In Anlehnung an HATTON und WENNBERGS sind die Siebe wie folgt gestaltet:

- 45 mm Lochsieb
- 8 mm Streifensieb
- 7 mm Lochsieb
- 3 mm Lochsieb

Dabei ergaben sich folgende Fraktionen:

- F1: x > 45 mm
- F2: 45 mm > x > 8 mm
- F3: 8 mm > x > 7 mm
- F4: 7 mm > x > 3 mm
- F5: 3 mm > x

HARTLER (1960) und HATTON (1969) führen aus, daß die Ergebnisse der maschinellen Sortierung Mängel aufweisen. Eine genaue Sortierung des Hackschnitzelgutes nach Länge und Dicke ist nach HARTLER maschinell nicht durchführbar. Da jedoch in der vorliegenden Untersuchung großtechnische Vorgänge mit vielen z. T. nicht erfaßbaren Variablen untersucht werden sollten und somit der zu gewinnende Informationsgehalt nicht so fein strukturiert war, kam es lediglich darauf an, Größenklassen bezüglich Länge und Dicke der Hackschnitzel zu erhalten.

HATTON (1979) fand, was auch die eigenen Voruntersuchungen bestätigten, daß sich in den Fraktionen F1 und F2 Schnitzel befanden, die lediglich aufgrund der übermäßigen Breite (F1) bzw. eines unregelmäßigen Faserverlaufs (F2) nicht in die Fraktion F3 eingeordnet worden waren. HATTON schlägt daher eine manuelle Nachsortierung der Fraktion F1 - F3 vor. Hierbei werden folgende Unterfraktionen gebildet:

Abb. 15: Hackschnitzelfraktioniergerät

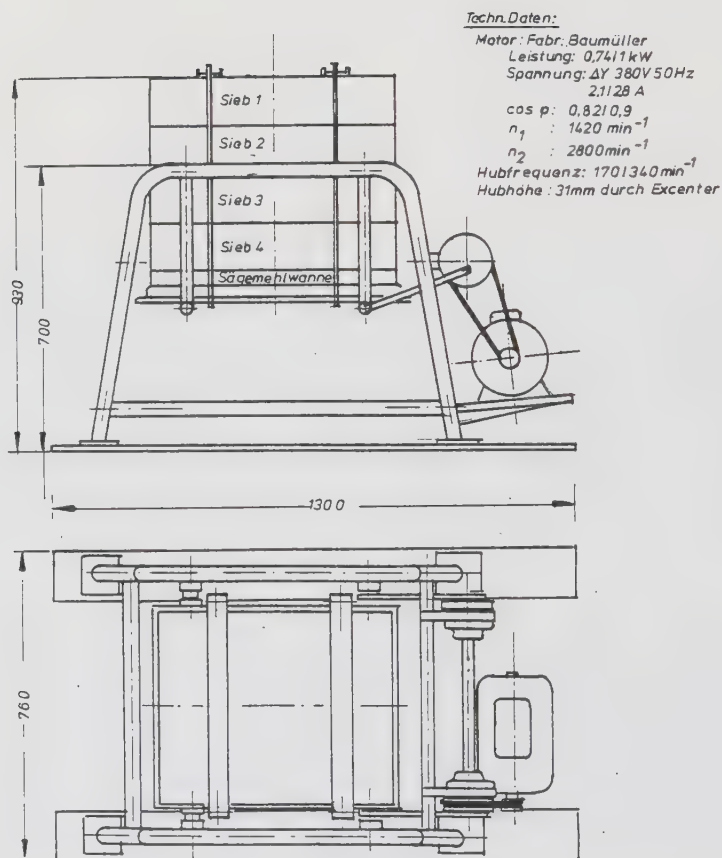
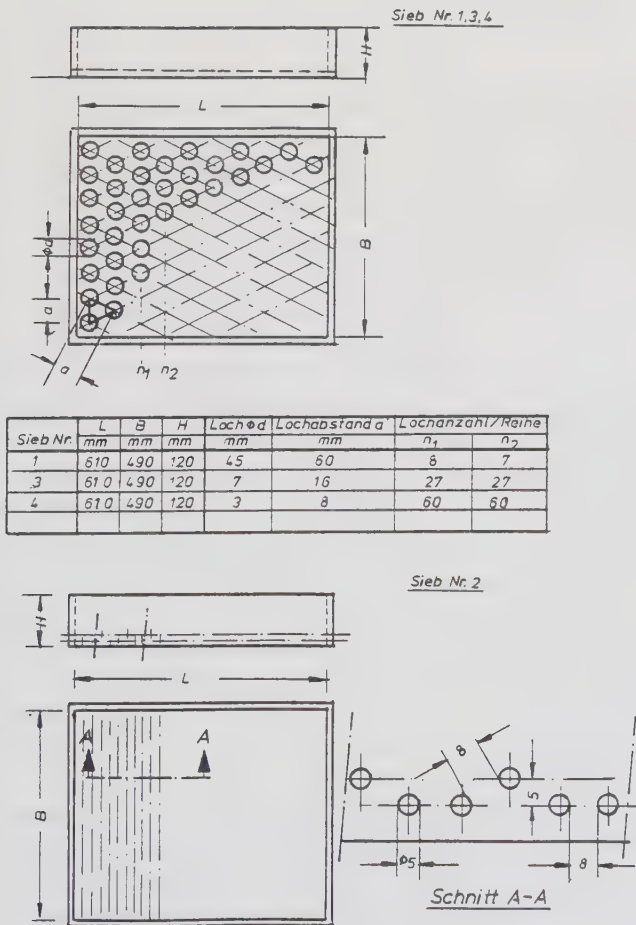


Abb. 16: Konstruktion der Fraktioniersiebe



- übergroße Hackschnitzel
- akzeptierte Hackschnitzel
- Rinde
- Äste und sie umgebendes Holz
- pilzbefallene Hackschnitzel

Die Fraktion "übergroße Hackschnitzel" ergibt sich aus F1 und F2 nach Aussortieren der zu breiten und der mit unregelmäßigem Faserverlauf versehenen Hackschnitzel. Für die übergroßen Hackschnitzel erscheint das Vorgehen angebracht, da nach den Ausführungen in Abschn. 3.2.1 keine Abhängigkeit zwischen Hackschnitzelbreite und Zellstoffqualität besteht. Bei der praktischen Überprüfung dieses Vorgehens im Rahmen des Vorversuches ergab sich jedoch, daß die in der Fraktion F1 enthaltenen Hackschnitzel nicht allein aufgrund der übergroßen Breite, sondern auch aufgrund der Länge zurückgehalten wurden. Bezüglich der Hackschnitzel, die wegen ihres unregelmäßigen Faserverlaufs maschinell nicht in F3 eingeordnet wurden, erscheint es nicht sinnvoll, sie nachträglich F3 und damit den fehlerfreien Hackschnitzeln zuzuordnen: Bei diesen Schnitzeln dürfte die Penetration nicht so gleichmäßig wie bei den fehlerfreien erfolgen; ferner ist unregelmäßiger Faserverlauf oft mit der Ausbildung von Reaktionsgewebe verbunden, das dann Auswirkungen auf die Zellstoff- und Schluffeigenschaften hat. Damit unterblieb eine manuelle Nachsortierung der Fraktionen F1 und F2, soweit sie die Form des Hackschnitzelmaterials betrifft.

HATTON (1979) empfiehlt, die Äste und das sie umgebende Holz auszusortieren, da wie in Abschn. 3.2.3.3 und 3.3.1 ausgeführt, dieses Schnitzelgut den Hauptbestandteil des Splitteranteils bei der Zellstoffherstellung ausmacht. Bei astigem

Holz ist also von vornherein ein gewisser Splitteranteil impliziert. Da jedoch die Astigkeit in der vorliegenden Untersuchung bereits ein Kriterium der Rundholzerhebung war, meinte man, auch aufgrund des erforderlichen großen Zeitaufwands (HATTON, 1979) auf die Ermittlung des Astanteils im Hackschnitzelgut verzichten zu können.

Der Rindenanteil wurde in der vorliegenden Untersuchung ebenfalls separat ermittelt (s. Abschn. 4.1.5.2). Wird der Rindenanteil nach der Fraktionierung erhoben, ist die Gefahr gegeben, daß sich durch die Reibung der Hackschnitzelpartikel beim Fraktionieren die Rinde zerkleinert und im Staubanteil anreichert. Dies bestätigen auch die Untersuchungen von HEUGEL und GEIGER (1977, 21 f.).

Bezüglich der Ermittlung der pilzlichen Schädigungen des Hackschnitzelmaterials wurde die Vereinbarung getroffen, daß an der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft im Institut für Holzbiologie die entsprechenden Untersuchungen durchgeführt würden. Eigene Erhebungen in der von HATTON (1975 c) empfohlenen Art - Sortierung, aufgrund der für die einzelnen Befallsarten spezifischen Verfärbungen - unterblieben, da man in den Vorversuchen festgestellt hatte, daß bei wechselnder Feuchtigkeit und Rohdichte des Untersuchungsmaterials es nur schwer oder gar nicht möglich war, verblaute oder rotstreifige und mit sonstigen Pilzschäden befallene Hackschnitzel sicher zu separieren. HARTLER (1965) und HATTON (1969) weisen darauf hin, daß für die Probenahme zur Fraktionsverteilung besondere Sorgfalt verwandt werden muß, da durch das Schütten eine Entmischung der verschiedenen Fraktionen möglich ist. Daher wurde besonderer Wert darauf gelegt, alle Probenahmen so durchzuführen, daß dabei eine

Entmischung vermieden wurde: Dies ergab sich meist jedoch automatisch, da im Sägewerk das gesamte beim Versuch anfallende Hackschnitzelmaterial entnommen wurde und im Labor das zur Fraktionierung vorgesehene Material nach repräsentativen Entnahmen der übrigen Untersuchungsmaterialien als Rest verblieb.

Die Festlegung der Fraktionierungszeit wurde von folgenden Überlegungen bestimmt: Durch das Sieben des Hackschnitzelgutes können besonders vorgeschäftigte Schnitzel aufbrechen, so daß sich so vor allem die Fraktion F3 verringert. Andererseits ist eine gewisse Zeit erforderlich, bis sich die einzelnen Fraktionen voneinander getrennt haben. HATTON (1975 c) fand, daß es ca. 10 Min. bedarf, bis die Anteile der Fraktionen F1 - F3 konstant bleiben. Bei den besonders dünnen Hackschnitzeln, wie sie beim Kockums-Profilspaner erzeugt wurden, bestehen jedoch Zweifel, ob hier die Fraktionierungszeit nicht zu lang ist.

Um die zur Fraktionierung notwendige Hackschnitzelmenge festzulegen, ist davon auszugehen, daß die Fraktionierung bei kleinen Mengen am schnellsten und in der Regel einwandfrei verläuft. Andererseits bedarf es nach EDBERG und ESKILSSON (1972) einer größeren Menge, um die Pin-chips besser abzuscheiden. Und schließlich nimmt mit zunehmender Menge in der Regel die Repräsentativität der Ergebnisse zu. Nach Abwägung dieser Kriterien entschied man sich dazu, jeweils den Inhalt eines 10 l-Eimers zu fraktionieren.

Da aus verschiedenen Gründen sowohl die Fraktionsverteilung - feucht als auch die Fraktionsverteilung - trocken interessant ist, sollten beide ermittelt werden. Während HATTON (1979) für dieses Vorhaben das einmal fraktionierte Material

darfte, alles wieder vermischte und dannnochmals fraktionierte, entschied man sich hier zum umgekehrten Weg: Von jeder Fraktion wurde eine Feuchtigkeitsprobe entnommen, der Wassergehalt bestimmt und daraus die Fraktionsverteilung - trocken errechnet. Das Vorgehen von HATTON bietet den Vorzug, daß es weniger Umrechnungen bedarf, um das Ergebnis zu erhalten, und bei der Fraktionierung im trockenen Zustand der anhaftende Feinanteil besser separiert wird. Dagegen könnte das zweimalige Sieben zu einer Nachzerkleinerung vor allem sehr breiter Schnitzel führen. Ferner war beim eigenen Vorgehen der Trockenraumbedarf geringer.

4.1.5.5 Ermittlung des Probeumfanges

Nachdem im Abschn. 4.1.1.1 die Anzahl der zu untersuchenden Betriebe anhand der verfügbaren und für die Hackschnitzelqualität relevanten Einschnitts- und Hacktechniken festgelegt worden ist, gilt es, im folgenden zu prüfen, wieviele Proben je Hackschnitzelsortiment erhoben werden müssen, um abgesicherte Ergebnisse zu erhalten.

Die Ermittlung des Probeumfanges erfolgte auf der Grundlage der Formel von SCHUMACHER-CHAPMAN (PRODAN, 1961, 182 ff.):

$$\bar{S}_y \% = \frac{t \cdot c_v \%}{\sqrt{n}}$$

t = Wert aus der T-Tabelle bei vorgegebener Überschreitungswahrscheinlichkeit

c_v = Variationskoeffizient

n = Stichprobenumfang

$\bar{S}_y$ = Repräsentationsfehler

Aus den Voruntersuchungen von HEUGEL und GEIGER (1977) wurden für die Variablen Wassergehalt (F_u), Rindenanteil (R_i), Weißgrad (WG_H) und die mittlere Fraktion (F_3) die Variationskoeffizienten hergeleitet. Bei einem Probeumfang von 14 Einzelproben ergaben sich folgende Variationskoeffizienten (c_v):

$$\begin{aligned} F_u &= 11,2 \% \\ R_i &= 124,5 \% \\ WG_H &= 6,3 \% \\ F_3 &= 10,9 \% \end{aligned}$$

Um zwischen dem statistisch anzustrebenden und praktisch möglichen Probeumfang abwägen zu können, sind in Tab. 4 in einem Rahmen, der durch verschiedene Repräsentationsfehler und Überschreitungswahrscheinlichkeiten eingegrenzt wird, die bei den einzelnen Variablen notwendigen Probemengen errechnet worden.

Tab. 4: Errechnung des Stichprobenumfanges

	t	$\bar{S}_y$			
		2	5	10	20
F_u					
	5	121	20	5	2
	10	85	14	4	1
R_i	5	15000	2000	596	149
	10	10000	15000	417	104
WG_H	5	38	6	2	1
	10	27	5	2	1
F_3	5	115	19	5	2
	10	80	13	4	1

Daraus ergibt sich, daß für den Rindenanteil bei einem vertretbaren Probeumfang keine statistisch befriedigend abgesicherte Ergebnisse zu erwarten sind. Wenn man von diesem Mangel absieht, ist festzustellen, daß man bei den drei übrigen Variablen mit 30 Proben den Anforderungen der Statistik gerecht werden kann. Die Möglichkeit, den Probenumfang allein für den Rindenanteil zu erhöhen, mußte wegen des allzu großen Zeitaufwandes, besonders bei dieser Erhebung, verworfen werden. Die große Anzahl von Variablen und ihre komplexen Abhängigkeiten hätte es nahegelegt, die Betriebe mehr als zweimal aufzusuchen. Jedoch war dies aus zeitlichen Gründen nicht realisierbar.

Bei einem Probeumfang von 30 und Festlegung der Überschreitungswahrscheinlichkeit auf 5 - 10 % sind für die einzelnen Variablen folgende Repräsentationsfehler zu erwarten:

$$F_u : t = 5 \% ; \bar{S_y} = 4,0 \%$$

$$R_i : t = 10 \% ; \bar{S_y} = 37,3 \%$$

$$WG_H : t = 5 \% ; \bar{S_y} = 2,3 \%$$

$$F_3 : t = 5 \% ; \bar{S_y} = 3,9 \%$$

4.2. Versuchsbeschreibung

Alle in Abschnitt 4.1.1 aufgeführten Betriebe wurden zweimal, Frñhsommer/Sommer 1978, sowie Herbst/Winter 1978/79, aufgesucht. Die Festlegung der Zeitpunkte erfolgte mit der Vorstellung, die Auswirkungen von unterschiedlichen Einschlagszeitpunkten in Kombination mit der Lagerdauer zu ermitteln. Ferner sollten Schwankungen in den betrieblichen Gegebenheiten wenigstens im Ansatz berücksichtigt werden.

4.2.1 Erhebungen im Sägewerk

Vor Beginn der Aufnahmen wurden in jedem Betrieb die in Absatz 4.1.2 aufgeführten Bereitstellungsmodalitäten, Einschlagszeitpunkt, sowie Besonderheiten der Bereitstellung, z. B. Entrindungsaggregat im Wald, sowie der Zustand der Hackaggregate erfragt und in einem separaten Protokoll aufgenommen. Nach Festlegung der zu beobachtenden Blochanzahl - die beim Einschnitt dieser Bloche erzeugten Schwarten und Spreißel mußten das benötigte Probematerial ergeben - wurde beim Einschnitt vor dem Gatter der Zustand des Rundholzes mit Hilfe des Erhebungsbogens 1 (s. Anlage 1), bezüglich Jahrringbreite, Astigkeit, Dimension, Entrindungszustand und Mantelverfärbungen aufgenommen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 wiedergegeben.

Da angenommen werden mußte, daß die Restholzbestandteile Schwarten und Spreißel ein unterschiedliches Hackschnitzelmaterial ergäben, wurde eine strikte Trennung vorgeschrieben. In den Gattersägewerksbetrieben, die nur mit einem Hackaggregat ausgerüstet waren, konnte eine Trennung dadurch bewerkstelligt werden, daß entweder das Spreißel- bzw. Schwartenmaterial zurückgehalten wurde, während das andere Sortiment ungehindert dem Hackaggregat zufloß. In der Arbeitspause erfolgte dann die Hackung des zurückgehaltenen Sortiments. Um eine Vorstellung zu bekommen, wie sich die Mischung von Schwarten und Spreißel verhält, wurde ohne Behinderung des Materialflusses das Sortiment "Normal" als Mischung von Schwarten und Spreißel erhoben. Die Entnahme des Probematerials erfolgte direkt hinter dem Hacker, zumindest aber vor einer evtl. im Betrieb integrierten Siebung. Entnommen wurde das gesamte anfallende Hackschnitzelmaterial.

Tab. 5: Beschaffenheit des Rundholzes sowie Bereitstellungs- und Einschnittsmodalitäten bei den Einschnittversuchen

Netz. Nr.	Versuchsreihe	ESZ 1) M	VAX 2) M	LD 3) M	MSZ 4) Tage	tl 5) cm	tl 6) m	Haupt-, Nebenprodukte mm	Aktig. Zeit mm	Jahr- 9) eingbr. mm	Ver- 10) färbung, mm	Ent- 11) rind. Qual.
1	1	1	2	2	2	33	8,5		232	3	313	3
2	2	5	1	9	2,5	2,5		24				
3	1	10	3	6	14							
4	2	9	11	2,5	1	25	8	24	232	2	003	3
5	1	5	6	(4)6 (9)	0	36	10	198/197	18	2	303	4
6	2	(12)1	3	1	0,5	17	5	103/108	24	222	000	1
7	1	(12)1 (4)	3	3	0,5	25	3,5	120/140	18	212	002	3
8	2	(12)1	7	8	0,5	28	5	156/172	24	212	003	1
9	1	(5)6	8	3*	0,5	24	5	198/280	24	122	100	2
10	2	12	1	18*	5	27	5	164/160	24	221	122	1
11	1	(4)2	4	3	15	30	5	197/210	24	112	003	3
12	2	(12)1	3	3*	1,5	12	3,5	80/100	221	2	002	3
13	1	1	4	4	2	18	5	100/120	222	2	000	2
14	2	1	2	18*	1,5	13	4,5		211	2	002	3
15	1	(3)4	7	3	2,0	16	4	80/100 -120/140	111	2	001	2
16	2	10(11)	11	1	0,5	19	4,5	100/100 -120/140	222	1	000	1
17	1	(2)3	7	5	1,5	20	5	100/160	221	2	003	2
18	2	(9)10	3	6	1	13	5	80/80 -120/120	212	1	102	3

Zeichenerklärung

- 1) ESZ = Einschlageszeitpunkt (Kalendermonat)
 2) VAX = Versuchszeitpunkt (Kalendermonat)
 3) LD = Lagerdauer in Monaten
 4) MSZ = Messerstandszeit: Anzahl der Tage
 5) M = Ø Mitteldurchmesser in cm
 6) L = Ø Länge in Meter
 7) Produkte: Hauptprodukte: Abmessung in mm
 Seitenware: Stärke in mm
- 9) Jahringbreite: 1=fain, <2 mm; 2=normal, 2 mm < x < 4 mm; 3=grob, >4 mm
 10) Verfärbungen: 1. Ziffer: Rotstreifigkeit: 1 gering, 2 mittel, 3 stark
 2. Ziffer: Bläue: 1 gering, 2 mittel, 3 stark
 3. sonst: Mantelverfärbg. 1 gering, 2 mittel, 3 stark
 11) Entrindungsqualität: 1=gut; 2=mittel; 3=schlecht

* nach Entrindung einen Monat im Werk gelagert
 ** bei der Entrindung und dem Einschnitt war das Holz gefroren

So ergaben sich je Sortiment zehn 100 l Säcke, entsprechend jeweils ca. 20 kg. Die Säcke waren aus Plastik, um ein Austrocknen des Materials während des Transports zu verhindern. Der mengenmäßige Umfang je Probe ergab sich aus den Erfordernissen der nachfolgenden Laboruntersuchungen. Dementsprechend schwankte die Anzahl der einzuschneidenden Blöcke in den einzelnen Sägewerksbetrieben je nach Dimension des Rundholzes und der erzielbaren Ausbeute erheblich.

4.2.2 Laboruntersuchungen

Im Labor wurden die 10 Säcke je Sortiment in drei Teile aufgeteilt, so daß sich hiermit die zuvor ermittelte Probenzahl von 30 ergab, die ihrerseits je ca. 6 kg umfaßte. Die Einzelproben wurden noch einmal zum Zwecke der Homogenisierung durch mehrmaliges Umschütten durchmischt. Danach entnahm man in zwei Aluminiumschalen 400 g zur Bestimmung des Wassergehalts und ca. 100 g zur Bestimmung des Weißgrades und füllte ca. 500 g in einer Plastiktüte zur Bestimmung des Rindenanteils ab. Der Rest verblieb zur Fraktionierung.

Bestimmung des Wassergehalts

Direkt nach Aufteilung der Proben wurde auf einer elektronischen Feinwaage, SARTORIUS/Kilomat mit einer Meßgenauigkeit von 0,01 g, das Gewicht der Feuchtigkeitsprobe ermittelt und nach der in der DIN 52 183 festgelegten Darrmethode das Trockengewicht bestimmt. Daraus ließ sich nach der in Abschnitt 4.1.5.1 angeführten Formel der Wassergehalt errechnen.

Bestimmung des Rindenanteils

Die Bestimmung des Rindenanteils erfolgte nicht später als 2 Tage nach Entnahme der Proben, so daß davon ausgegangen werden konnte, die originale Feuchtigkeit noch vorzufinden. Nach der Trennung von Rinde und Holz mit Hilfe der in Abschnitt 4.1.5.2 beschriebenen Methode, wurden beide Bestandteile auf der bereits erwähnten Waage SARTORIUS/Kilomat gewogen und mit Hilfe der Dararmethode das Trockengewicht von Rinde und Holz bestimmt. Rinde und Holz wurden, aufgrund der in Abschnitt 4.1.5.1 angeführten Überlegungen, getrennt gedarrt. Daraus ließ sich zum einen der Wassergehalt von Rinde und Holz, zum anderen der Rindenanteil - feucht (- lutro) (Ri_l) und - trocken (- atro) (Ri_a) mit Hilfe der nachfolgenden Formel ermitteln:

$$Ri \% = \frac{G \ Ri}{GH} \times 100$$

wobei:

$Ri \%$ = Rindengehalt in Prozent

$G \ Ri$ = Gewicht Rinde

GH = Gewicht Holz

Bestimmung des Weißgrades

Nach dem Darren der zur Weißgradbestimmung vorgesehenen Hackschnitzel (ca. 100 g) wurde das Hackschnitzelmaterial in 2 Stufen schonend zerkleinert: In der ersten Stufe erfolgte eine Hackung durch eine PALLMANN/Schneidemühle Typ Ps 1 F 2 (Abb. 17) bei einer Lochung des Quadratsiebs von 4 x 4 mm. Das so erzeugte Material wurde dann in der zweiten Stufe in

einer PALLMANN/Labor-Pralltellermühle Typ REF L 18 (Abb. 18) nachzerkleinert. Um eine schonende Zerkleinerung zu gewährleisten, wurden bei der Schneidemühle die Schnitzel einzeln eingegeben. Bei der Pralltellermühle stellte man die Vibrationsrinne, durch die die Mühle gespeist wird, so ein, daß der Anschlag des in der Maschine eingebauten Amperemeters nur unwesentlich über der Belastung im Leerlauf lag.

Das Absieben der Fraktion < 20 mesh, die Herstellung der "Tabletten" und die eigentliche Bestimmung des Weißgrads mit Hilfe des Filters R 46 erfolgte nach dem von KELLER (1973, 36 f.) beschriebenen Verfahren.

Bestimmung der Fraktionsverteilung

Unter Verwendung des in Abschnitt 4.1.4.4 beschriebenen Rüttelsiebes wurden während 10 Min. ein 10 l Eimer Hackschnitzelmaterial fraktioniert. Die Fraktionen F1, F2, F4 und F5 wurden auf der beschriebenen Feinwaage SARTORIUS/Kilomat, die Fraktion F3, wegen des hohen Gewichtsanteils, auf einer BIZERBA-Neigungstafelwaage mit einer Meßgenauigkeit von 1 g gewogen. Danach erfolgte die Darrung. Dabei wurde in der Regel die gesamte Fraktion gedarrt. Wegen der zu großen Menge vor allem bei F3, teilweise auch bei F2, entnahm man in diesen Fällen von der Gesamtfraktion nur eine Probe und ermittelte daraus die Feuchtigkeit. Abschließend erfolgte die Errechnung der Fraktionsverteilung - feucht und - trocken.

Abb. 18: PALLMANN/Labor-Pralltellermühle
Typ REF L 18

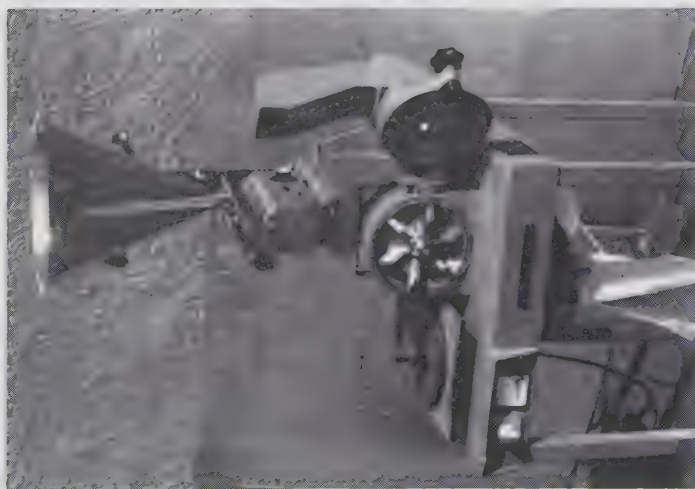
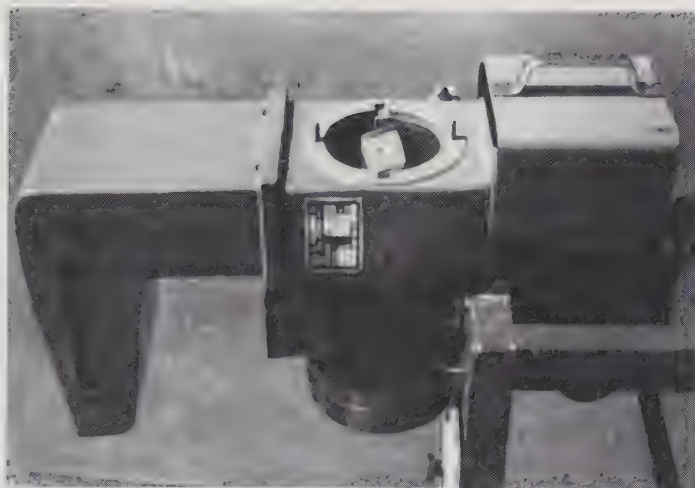


Abb. 17: PALLMANN/Schneidemühle
Typ Ps 1 F 2



4.3 Versuchsergebnisse

4.3.1 Statistische Auswertung der Versuchsergebnisse

Im ersten Schritt der Auswertung wurden die in den 10 Betrieben für die Hackschnitzel-Probearten "Normal", "Schwarten" und "Spreißel" erhaltenen Ergebnisse der Eigenschaften und Eigenschaftsgruppen "Wassergehalt", "Rindenanteil", "Weißgrad" und "Fraktionsverteilung" aufgearbeitet, in dem man die Mittelwerte, Varianzen und Variationskoeffizienten herleitete. Da hierbei auffiel, daß sich einige Einzelwerte wesentlich vom übrigen Gesamtkollektiv unterschieden, wurde überprüft, ob es sich hierbei um "Ausreißer" handelte. Dazu leitete man die zuvor angegebenen statistischen Kennzahlen mit und ohne diese Werte her. Erfuhr der Variationskoeffizient hierdurch eine wesentliche Verbesserung und betrug die Anzahl der extremen Werte je Eigenschaft nicht mehr als 10 % des Probeumfangs, so waren diese Werte endgültig auszuschneiden. Insgesamt wurden von den ca. 15 Tsd. Einzelwerten 165, entsprechend ca. 1 %, eliminiert. Anschließend wurden für die drei Betriebstypen die Mittelwerte der einzelnen Variablen errechnet. Die Ergebnisse sind in den Anlagen 2.1 - 2.8 dargestellt.

Bevor die eigentliche Auswertung der Versuchsergebnisse erfolgen konnte, mußte als Basis für die weiteren Untersuchungen die Beschaffenheit des Datenmaterials in mehrfacher Hinsicht festgestellt werden. Die Homogenität der Daten in bezug auf die einzelnen Variablen, wie sie bei den jeweiligen Probenahmen angefallen waren, wurde im ersten Schritt anhand des Variationskoeffizienten und der Verteilungskurve überprüft:

Bei entsprechendem Kurvenverlauf und einem Variationskoeffizienten $V < 30 \%$ nahm man an, daß die Probe normalverteilt und damit homogen ist.

Zur weiteren Absicherung der Homogenität der Proben wurde der KOLMOGOROV-SMIRNOV-Test (SACHS, 1971, 256 ff.) herangezogen, der die Anpassung der beobachteten Werte an die Normalverteilung prüft. Mit Hilfe des Signifikanzniveaus für die Testgröße, das Kolmogorov-Smirnov-Z, konnte entschieden werden, ob die Hypothese ("Es besteht ein Unterschied zwischen theoretischer Verteilung und beobachteten Daten") angenommen oder verworfen wird; d. h. die in der Tabelle angegebenen Signifikanzniveaus wurden wie folgt interpretiert:

sign. $> 0,8$: normalverteilt
0,8 $>$ sign. $> 0,7$: schlecht normalverteilt
0,7 $>$ sign. $> 0,2$: keine Aussage möglich
0,2 $>$ sign. : nicht normalverteilt

Das Ergebnis ist in den Anlagen 3.1 und 3.2 wiedergegeben. Danach sind die meisten Variablen normalverteilt und es kommen nur wenige nicht normalverteilte Proben bzw. solche Proben vor, über die keine Aussagen möglich sind. Damit wird davon ausgegangen, daß die Variablen insgesamt normalverteilt sind. Lediglich der Rindenanteil - lutro und - atro (R_{i1}/R_{ia}) und die Fraktion $> 45 \mu m$ (F1) weisen in der Mehrzahl nicht normalverteilte Proben auf. Zu erklären ist dieser Vorgang vor allem bei der Variablen F1 damit, daß der prozentuale Anteil in der Regel recht gering und die einzelnen Partikel dagegen sehr groß waren. Untermauert wird diese These auch dadurch, daß immer, wenn die Fraktion F1 klein war, keine Normalverteilung vorlag, während in den entgegengesetzten

Fällen Normalverteilungen ermittelt wurden. Für den Rindenanteil konnte diese Annahme nicht im gleichen Maße abgesichert werden.

Da in der Untersuchung zwischen den Rindenanteilen und den Fraktionsverteilungen - lutro bzw. - atro z. T. erhebliche Unterschiede festgestellt wurden, galt es zu prüfen, ob diese Differenzen signifikant sind. Dies erfolgte im ersten Schritt mit Hilfe des T-Tests (SACHS, 1971, 242 ff.). Da dieser jedoch nur für normalverteilte Proben angewandt werden kann, wurde der Rindenanteil (R_{11}/R_{1a}) und die Fraktion der übergroßen Hackschnitzel (F_{11}/F_{1a}) zusätzlich mit Hilfe des WILCOXON-Tests (SACHS, 1971, 244 ff.) überprüft (s. Anlage 4.1 und 4.2). Wegen des geringen Probeumfangs sind die dabei ermittelten Werte nicht statistisch abgesichert, so daß für die Auswertung die durch den T-Test erzielten Angaben zur Beurteilung mit herangezogen werden mußten. Jedoch führten T- und WILCOXON-Test in der Regel zum gleichen Ergebnis: In den meisten Fällen besteht zwischen dem Rindenanteil und der Fraktionsverteilung - lutro bzw. - atro ein signifikanter Unterschied, auf den in den Abschnitten 4.3.3 und 4.3.4 noch näher eingegangen wird. Auf eine Varianzanalyse wurde wegen des zu geringen Stichprobenumfangs verzichtet.

Als weiteres galt es zu prüfen, inwieweit die Probearten "Normal", "Schwarten" und "Spreißel" sich bezüglich der verschiedenen Eigenschaften unterscheiden. Dies erfolgte ebenfalls mit Hilfe des T- bzw. 2-sample-Tests nach WILCOXON. Letzterer wurde bei den Variablen Rindenanteil und der Fraktion F_1 aus den oben geschilderten Gründen angewandt (s. Anlage 5.1 - 5.3). Das Ergebnis ist jedoch recht uneinheitlich: Wenn erwartet worden war, daß zwischen den Probearten "Schwarten" und

"Spreißel" große Unterschiede bestanden und die Probeart "Normal" als Mischform geringere Unterschiede zu den beiden anderen Probearten aufwies, so wird dies durch die Ergebnisse bzw. die Signifikanzniveaus zwischen den einzelnen Werten oftmals nicht bestätigt. Dies beweist, daß das Probematerial in den einzelnen Betrieben oft nicht, wie vorausgesetzt, homogen war. Besonders deutlich wird dies bei dem Wassergehalt (F_u), für den bei homogenem Ausgangsmaterial das Signifikanzniveau annähernd 1 sein sollte: Wie die Anlagen 2.1 - 2.8 bzw. 5.1 - 5.3 zeigen, bestehen in den meisten Fällen zwischen der Mischprobe "Normal" und den Probearten "Schwarten" und "Spreißel" solch signifikante Unterschiede, daß erstere als eigenständige Probe behandelt werden müßte. Tendenziell ist die gleiche Beobachtung bei den anderen Variablen ebenfalls festzustellen. Aber auch zwischen den Probearten "Schwarten" und "Spreißel" waren z. T. erhebliche Unterschiede bezüglich der Variablen "Wassergehalt" nachzuweisen. Ob es sich hierbei um einen weiteren Hinweis auf die Inhomogenität des Rundholzes oder um abgesicherte Differenzen zwischen den beiden Probearten handelt, ist zu einem späteren Zeitpunkt näher zu erörtern. Bezüglich des Rindenanteils differieren die Verhältnisse zwischen den Probearten "Schwarten" und "Spreißel" recht erheblich: Zum Teil werden signifikante Unterschiede nachgewiesen, die die der Probeart "Normal" übersteigen, z. T. können keine abgesicherten Differenzen festgestellt werden. Ferner sind diese Unterschiede beim "Rindenanteil - trocken" wesentlich geringer als beim "Rindenanteil - feucht". Bezüglich des Weißgrads sind die Differenzen zwischen den Probearten "Schwarten" und "Spreißel" wesentlich geringer als zwischen diesen beiden Probearten und der Mischprobe "Normal". Bei der Fraktionsverteilung werden dagegen gesicherte Unterschiede zwischen "Schwarten" und "Spreißel" festgestellt. Dies entspricht auch den Erwartungen. Auf die Bedeutung dieser Ergebnisse wird in den jeweiligen Kapiteln eingegangen.

Als Abschluß der Signifikanz-Tests wurden die Ergebnisse der Einzelaufnahmen für die drei Betriebstypen I - III, "Gattersägewerk mit Waldentrindung", "Gattersägewerk mit Werksentrindung" und "Profilspanerwerk", für die beiden Versuchsreihen zusammengefaßt und bezüglich signifikanter Unterschiede überprüft (s. Anlage 6.1 und 6.2). Dabei ergab sich, daß bezüglich der verschiedenen Variablen signifikante Unterschiede sowohl zwischen den drei Betriebstypen als auch zwischen den einzelnen Betriebstypen in den beiden Versuchsreihen bestehen. Bei einer Abstufung nach zunehmender Qualität ergab sich für die einzelnen Eigenschaften bei den Betriebstypen I - III stets die Abfolge I, II, III. Die Ausnahme bildet der Weißgrad zwischen den Betriebstypen II und III.

Bevor die Ergebnisse im folgenden Kapitel näher analysiert und bezüglich der Abhängigkeit von den verschiedenen Einflußgrößen interpretiert werden können, müssen zuvor noch die den Einschnittsversuchen zugrundeliegenden Gegebenheiten zusammenfassend dargestellt werden. Hierbei gilt es vor allem die Bereitstellungs- und Einschnittsmodalitäten sowie die Beschaffenheit des Rundholzes wie sie sich für die drei Betriebstypen ergaben, einander gegenüberzustellen. Die Bereitstellungsmodalitäten, weitgehend gekennzeichnet durch Lagerdauer und Verarbeitungszeitpunkt sind in Tab. 6 dargestellt.

Tab. 6: Durchschnittliche Lagerdauer (LD) und Verarbeitungszeitpunkt (VAZ) in den Betriebstypen I - III in Monaten

	I		II		III	
Versuchsreihe	LD	VAZ	LD	VAZ	LD	VAZ
1	4	März	4	Juli	3,8	Juni
2	6	Febr.	2,7	Dez.	2,8	Dez.
Gesamt	5		3,3		3,3	

Daraus ergibt sich, daß das waldentrindete Holz (Betriebstyp I) im Durchschnitt ca. 2 Monate länger als das werksentrindete Holz (Betriebstyp II und III) gelagert wurde. Ferner wird noch einmal dokumentiert, daß sich die erste Versuchsreihe vom Frühjahr bis zum Spätsommer erstreckte, während die zweite Versuchsreihe im Winter durchgeführt wurde. Diese Unterschiede dürften Auswirkungen auf die Versuchsergebnisse haben.

In Tab. 7 sind die durchschnittlichen Eigenschaften des Rundholzes, wie es in den drei Betriebstypen zum Einschnitt kam, dargestellt.

Tab. 7: Vergleich der Rundholzeigenschaften in den drei Betriebstypen

		Betriebstyp		
		I	II	III
	M Ø i. cm	31	25	17
	L i. m	8,5	5	4,5
	Jahrr. ¹⁾	2,3	2	1,7
Astig- keit ²⁾	AST 1	2,3	1,6	1,8
	AST 2	3,0	1,5	1,6
	AST 3	2,0	2,0	1,6
Verfär- bungen ³⁾	Verf. 1	2,0	0,3	0,1
	Verf. 2	0,3	0,3	0,0
	Verf. 3	3,0	1,6	1,4

1) Jahrringe:

1 = schwach, > 1 mm; 2 = normal, 2 mm < x < 4 mm,
3 = breit, > 4 mm

2) Astigkeit:

AST 1: Astanzahl: 1 = gering, 2 = normal, 3 = stark
AST 2: Aststärke: 1 = < 2 cm; 3 = > 2 cm; 2 = verteilt
AST 3: Astzustand: 1 = Lebendast; 3 = Totast;
2 = ausgeglichen

3) Verfärbungen:

Verf. 1: Rotstreifigkeit: 1 = gering; 2 = mittel; 3 = stark
Verf. 2: Bläue: 1 = gering; 2 = mittel; 3 = stark
Verf. 3: sonst.Mantelverf.: 1 = gering; 2 = mittel; 3 = stark

Der mittlere Durchmesser und die Länge der Sägebloche nimmt vom Betriebstyp I zu III ab. Gleiches gilt für die Astigkeit und die Jahrringbreite, wobei hier zwischen den Betriebstypen II und III keine wesentlichen Unterschiede festzustellen sind.

Bezüglich der Verfärbungen, als Anzeichen für pilzliche Schädigungen und Gerbstoffreaktionen, ist das waldentrindete Holz wesentlich schlechter zu beurteilen. Dabei muß darauf hingewiesen werden, daß die für die einzelnen Betriebstypen gemachten Aussagen aufgrund des geringen Stichprobenumfangs nicht repräsentativ sind und damit nicht verallgemeinert werden dürfen.

Bezüglich der Einschnittsmodalitäten war die Messerstandzeit bei den unterschiedlichen Hackertypen zu vergleichen. Das Ergebnis ist in Tab. 8 angegeben.

Tab. 8: Durchschnittliche Messerstandzeiten in den Trommel (TH)- und Scheibenhackern (SH) sowie den Profilspanern (PS) bei den Einschnittsversuchen in Tagen

Versuchsreihe	TH	SH	PS
1	1	3,5	2,5
2	1	15	1
gesamt	1	9	1,5

Es ist ersichtlich, daß Trommelhacker und Profilspaner in sehr viel kürzeren Zeiträumen gewartet wurden als die Scheibenhacker, wobei Messerstandzeiten von 2 Wochen für letztere

Maschinentyp nach Aussagen der Betriebsinhaber keine Seltenheit sind. Diese starken Unterschiede dürften sich vor allem in der Fraktionsverteilung niederschlagen.

4.3.2 Wassergehalt

In Tab. 9 sind die Mittelwerte, Varianzen und Variationskoeffizienten des Wassergehalts der einzelnen Hackschnitzelsortimente in den zehn Betrieben für die beiden Versuchsreihen dargestellt. Eine erste Betrachtung zeigt, daß der Wassergehalt mit Werten zwischen 28 - 62 % eine große Spreitung aufweist, womit ein breiter Feuchtigkeitsbereich abgedeckt ist. Aber auch innerhalb und zwischen den einzelnen Proben eines Versuchseinschnitts ergaben sich große Unterschiede, worauf die starken Schwankungen der Mittelwerte und die relativ hohen Varianzen hindeuten. Daraus ist zu schließen, daß das Probematerial bezüglich des Wassergehalts recht inhomogen war, eine Tatsache, die es im folgenden zu berücksichtigen gilt. Als eine Ursache dieser Erscheinung, die vor allem bei niedrigen Feuchtigkeiten im Betriebstyp I zu beobachten war, konnte angenommen werden, daß das Rundholz für den Versuchseinschnitt aus unterschiedlichen Losen stammte. Ferner dürfte diese Erscheinung auf die Tatsache zurückzuführen sein, daß die Austrocknung nicht gleichmäßig verläuft, sondern, durch vielfältige Faktoren verursacht, das Rundholz während der Lagerung in bezug auf den Wassergehalt inhomogener wird.

Neben den Einzelwerten des Wassergehalts der verschiedenen Probearten in den zehn Betrieben sind in Tab. 9 die Daten für die einzelnen Betriebstypen zusammengefaßt. Dabei wur-

Tab. 9: Wassergehalt des Hackschnitzelmaterials in den einzelnen Betrieben

Betr. Typ	Betr. Nr.	Prob. art	Versuchsreihe 1			Versuchsreihe 2		
			$\bar{x}$ %	s^2 %	V %	$\bar{x}$ %	s^2 %	V %
I	1	N	61,33	4,80	3,57	40,99	37,51	14,94
		Schw	48,52	114,40	22,05	45,96	45,96	14,78
		Sp	47,48	42,09	13,67	45,79	49,16	15,31
	2	N	45,23	79,45	19,71	47,29	64,61	16,97
		Schw	43,67	156,20	28,62	54,18	12,76	6,69
		Sp	36,47	123,80	30,51	54,95	8,87	5,42
	3	N				59,90	23,81	8,14
		Schw				46,42	97,36	21,26
		Sp				49,06	24,36	10,06
	Summe I		45,62	141,10		49,25	69,06	
II	4	N	59,17	3,11	2,98	53,65	4,72	4,05
		Schw	57,91	3,96	3,44	56,26	7,78	4,96
		Sp	58,51	2,40	2,65	56,60	1,67	2,29
	5	N	55,30	14,12	6,80	60,11	12,95	5,99
		Schw	54,98	11,74	5,73	60,18	5,08	3,75
		Sp	50,71	11,64	5,73	60,18	5,08	3,75
	6	N	28,37	7,91	9,91	57,02	7,72	4,87
		Schw	30,23	13,30	12,00	57,49	7,87	4,88
		Sp	29,98	10,58	3,17	58,43	0,50	1,21
	Summe II		51,43 ¹⁾	42,54 ¹⁾		57,81	9,12	
III	7	Ps	52,63	56,05	14,23	60,67	8,45	4,79
	8	Ps	52,10	44,07	12,74	62,43	4,95	3,55
	9	Ps	50,97	3,25	3,54	59,49	5,11	3,80
	10	Ps	51,61	9,29	5,90	54,42	1,21	2,02
	Summe III		51,78	23,43		59,22	13,47	

¹⁾ ohne Betrieb 6

den in der ersten Versuchsreihe des Betriebstyps II die Ergebnisse des Betriebs 6 in der Zusammenfassung nicht verwendet, da durch eine für diese Betriebstype ungewöhnliche einmonatige Lagerung des entrindeten Holzes die Feuchtigkeit extrem abgefallen war. Bei Berücksichtigung dieser Werte hätte sich ein verfälschtes Gesamtergebnis für diese Betriebstype ergeben. Nach dieser Korrektur ist festzustellen, daß das waldentrindete Holz (Betriebstyp I) eine sehr viel geringere Feuchtigkeit als das werksentrindete Holz (Betriebstyp II und III) aufwies. Wesentlich geringer waren die Unterschiede zwischen den Betriebstypen II und III; aber auch sie sind signifikant abgesichert. Ferner ist festzustellen, daß das Probematerial in der zweiten Versuchsreihe bei allen drei Betriebstypen signifikant feuchter ist als bei der ersten Versuchsreihe. Dies dürfte auf die unterschiedlichen Zeitpunkte, zu denen die beiden Versuchsreihen durchgeführt wurden, zurückzuführen sein: Die erste Versuchsreihe erstreckte sich von Februar bis August, die zweite Versuchsreihe von November bis März. Dies ist ein erster Hinweis darauf, daß der Wassergehalt von den jahreszeitlichen Gegebenheiten beeinflußt wird.

4.3.2.1 Zusammenhänge zwischen Wassergehalt und Rundholzeigenschaften

Die Verteilung der Feuchtigkeit im stehenden Baum wird von TRENDELENBURG und MAYER-WEGELIN (1955, 248 ff.) beschrieben. Danach nimmt die Feuchtigkeit vom Kern- bzw. Reifholz zum Splint hin erheblich zu. Ferner geben die beiden oben genannten Autoren für Fichten-Splint- bzw. -Kernholz Feuchtigkeitsgehalte (F_0) von 146 % bzw. 33 % an, wobei sie gleichzeitig auf die starken jahreszeitlich und durch sonstige Einflüsse

bedingten Schwankungen verweisen. Da das Sägerestholz vorwiegend Splintholz enthält, dürften sich beim Einschnitt von waldfrischem Holz stets sehr hohe Feuchtigkeitswerte für die Schwarten und Spreißel ergeben. Hiermit kann auch das Phänomen erklärt werden, daß im vorliegenden Versuch die Hack-schnitzel, erzeugt aus z. T. länger gelagertem Rundholz in einigen Fällen wesentlich höhere Feuchtigkeitswerte aufwiesen, als sie KELLER (1973, 46) und KNELL (1968, 64 ff.) mit ca. 50 % als Frischfeuchtigkeit für Schleifholz beobachteten. Hiermit ist auch zu begründen, daß in der vorliegenden Untersuchung kein Zusammenhang zwischen dem Mittendurchmesser der Sägebloche und dem Wassergehalt gefunden wurde. TRENDELENBURG und MAYER-WEGELIN (1955, 271) weisen darauf hin, daß das Spätholz einen höheren Wassergehalt als das Frühholz aufweist. Daraus ist zu schließen, daß enge Jahrringe, und damit eine höhere Dichte, eine geringere Frischfeuchte bedingen. Auf diesen Zusammenhang weist auch KELLER (1973, 47) hin. In der eigenen Untersuchung ergaben sich jedoch Hinweise, wie Tab. 10 zu entnehmen ist, daß dies für gelagertes Holz nicht zutrifft. Vielmehr deutete sich hier ein gegenläufiger Zusammenhang an.

Tab. 10: Zusammenhänge zwischen Wassergehalt und Jahrringbreite

Jahrring- breite	Wassergehalt in %	
	Waldentründung Betriebstyp I	Werkseentründung Betriebstyp II u. III
> 2 mm		56,86
2 - 4 mm	51,84	52,27
< 4 mm	44,21	

Wegen der unterschiedlichen Bereitstellungsbedingungen war eine Trennung in waldentrindetes bzw. werksentrindetes Holz notwendig. Damit waren jedoch in jeder Aufnahmeeinheit nur zwei der drei Jahrringbreitenkategorien enthalten. Die Tendenz ist jedoch in beiden Betriebstypen gleich: Mit zunehmender Jahrringbreite nimmt die Feuchtigkeit des Restholzes wesentlich ab. Da jedoch in beiden Betriebstypen nur jeweils zwei Kategorien vertreten waren, ist die Repräsentanz dieses Ergebnisses nicht nachzuweisen, und es kann nicht ausgeschlossen werden, daß für dieses Resultat andere, nicht erkennbare Faktoren maßgebend sind.

4.3.2.2 Zusammenhänge zwischen Wassergehalt und Bereitstellungsmodalitäten

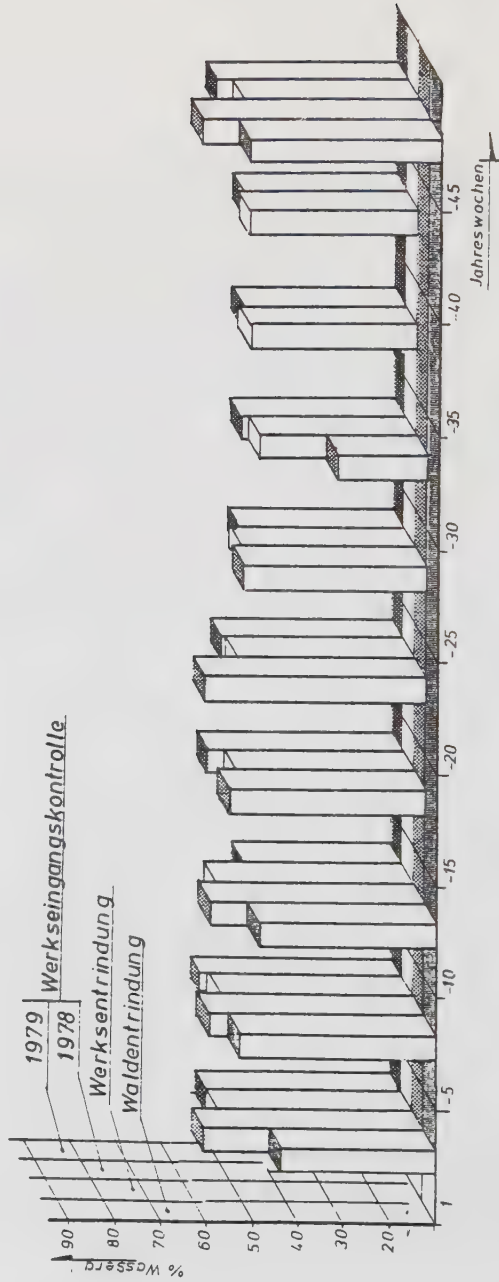
Die Bereitstellungsmodalitäten wurden durch die Größen "Einschlagszeitpunkt", "Lagerdauer" und "Verarbeitungszeitpunkt" charakterisiert. Damit ist gleichzeitig der für die drei Betriebstypen unterschiedliche Entrindungszeitpunkt festgelegt: Für den Betriebstyp I wurde die Annahme getroffen, daß das Holz sofort nach dem Einschlag entrindet wurde und damit der Einschlags- dem Entrindungszeitpunkt entspricht. Dies dürfte in einigen Fällen, besonders wenn das Holz nachweislich durch mobile Anlagen im Wald entrindet wurde, nicht zutreffen. Da aber andererseits keine Möglichkeit bestand, genauere Angaben über den Entrindungszeitpunkt zu erhalten, mußte dieses Vorgehen akzeptiert werden. Für die Betriebstypen II und III war der Verarbeitungszeitpunkt gleich dem Entrindungszeitpunkt.

Die Frischfeuchtigkeit ist der Ausgangspunkt der Entwicklung des Wassergehalts. Da diesbezüglich keine eigenen Untersuchungen durchgeführt wurden, ist auf die im vorigen Kapitel

erwähnten Literaturangaben zu verweisen. In Abb. 19 ist der Wassergehalt des Hackschnitzelmateri als getrennt nach wald- und werksentrindetem Holz (Betriebstyp I bzw. Betriebstyp II + III) zu den jeweiligen Verarbeitungszeitpunkten dargestellt. Da das eigene Datenmaterial nicht ausreicht, um die Veränderungen des Wassergehalts während des Jahres gesichert darstellen zu können, werden als Basis und Hintergrund die Ergebnisse der Betriebseingangskontrolle der HAINDL PAPIER GmbH, ein Unternehmen, das u. a. Hackschnitzel zur TMP-Herstellung verarbeitet, für die Jahre 1978 und 1979 angegeben. Diese weisen eine klare Tendenz auf. Die höchsten Wassergehalte werden zwischen der 10. und 15. Woche, die niedrigsten zwischen der 30. und 35. Woche festgestellt. Die übrigen Werte bewegen sich zwischen diesen beiden. Wenn man eine gewisse Zeitverschiebung zwischen Hackschnitzelbereitstellung und Anlieferung im weiterverarbeitenden Werk einrechnet und von einigen "Ausreißern" absieht, entsprechen die eigenen Ergebnisse in etwa der aufgezeichneten Tendenz. Daneben ist festzustellen, daß die in den Betrieben mit Werksentrindung beobachteten Werte im Durchschnitt 3 - 7 % über denen der Betriebseingangskontrollen liegen. Wenn man trotz des geringen Umfangs des Datenmaterials davon ausgeht, daß dieser Unterschied gesichert ist, so dürfte die Erklärung darin zu sehen sein, daß der Unterschied auf die Austrocknung der Hackschnitzel während der Lagerung und des Transports vom Sägewerk zum weiterverarbeitenden Betrieb zurückzuführen ist.

Nachdem hiermit zumindest auf der Basis der Daten der Betriebseingangskontrolle festgelegt ist, daß z. T. erhebliche Schwankungen des Wassergehalts während des Jahresablaufs auftreten, sollen im folgenden die Ursachen zu dieser Erscheinung näher analysiert werden. Dabei ist davon auszugehen, daß die Ver-

Abb. 19: Wassergehalt des Hackschnitzmaterials von wald- und werksentriindetem Holz zum Verarbeitungszeitpunkt im Vergleich mit den Ergebnissen der Werkseingangskontrolle der HAINDL Papier GmbH in den Jahren 1978 und 1979



Änderungen des Wassergehalts durch die Größen Einschlagszeitpunkt und Lagerdauer und dabei vor allem durch deren Kombination bedingt werden. In einem ersten Schritt wurde versucht, den Einfluß der Lagerdauer auf den Wassergehalt zu ermitteln. Hierzu hätte es jedoch entweder eines Probematerials bedurft, das bezüglich des Einschlagszeitpunkts homogen ist und dessen Lagerdauer variiert wird, oder man hätte eine große Anzahl von Proben, deren Einschlagszeitpunkt gleichmäßig über das Jahr verteilt gewesen wäre, untersuchen müssen. Beide Voraussetzungen waren aber im vorliegenden Falle nicht gegeben. Jedoch konnte in einem Vorversuch (HEUGEL und GEIGER, 1977) bei einem Einschlagszeitpunkt zwischen November und Januar und Lagerdauern (LD) von 1 - 3 Monaten folgende Korrelation hergeleitet werden:

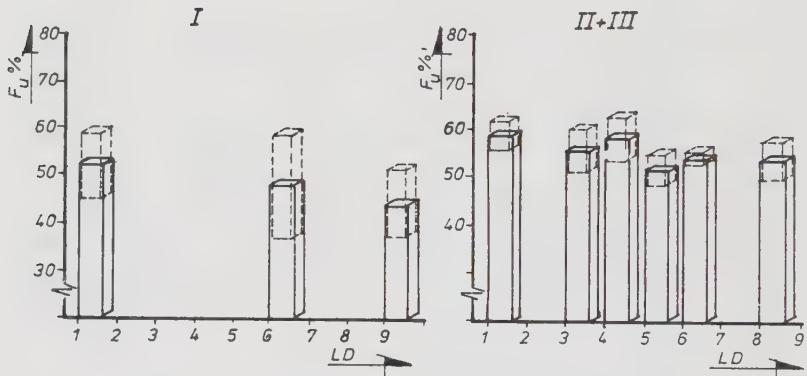
$$F_u = 0,27 LD - 0,42 LD^2 + 60,95$$

$$R = 0,461$$

$$\text{sign.} = 0,000$$

Da sich die Ergebnisse jedoch nur auf eine recht eng begrenzte Periode bezogen, wäre es unzulässig, sie zu verallgemeinern. In der vorliegenden Untersuchung ergaben sich für die Hackschitzel aus wald- bzw. werksentrindetem Sägerestholz die in Abb. 20 dargestellten Zusammenhänge.

Abb. 20: Abhängigkeit des Wassergehalts (F_u) des Hackschnitzelmaterials von der Lagerdauer (LD) in Monaten in den Betriebstypen I und II + III



Die zu erwartende Abnahme des Wassergehalts des Hackschnitzelmaterials mit zunehmender Lagerdauer ist sichtbar, wobei für waldentrindetes Holz schon nach kurzer Lagerung ein starkes Absinken der Feuchtigkeit beobachtet wurde. Jedoch sind die dazugehörigen Korrelationskoeffizienten zu gering, als daß ein zutreffendes Maß für die Feuchtigkeitsabnahme angegeben werden könnte.

Daher wurde versucht, ein Verfahren zu entwickeln, das neben der Lagerdauer auch den Einfluß des Einschlagszeitpunktes berücksichtigt. Dabei ging man in Anlehnung an KELLER (1973, 42 ff.) von folgenden Überlegungen aus: Die Trocknung des Rundholzes wird außer durch seine Dimension vor allem durch

die klimatischen Gegebenheiten, Temperatur und Feuchtigkeit während der einzelnen Monate sowie die Art der Lagerung beeinflusst. Nachdem KELLER die monatlichen Feuchtigkeitsveränderungen für Schleifholz, das unter unterschiedlichen Bedingungen gelagert worden war, ermittelt hatte, wurden diese Feuchtigkeitsveränderungen den weiteren Überlegungen zugrundegelegt; sprunghafte Abweichungen von dem annähernd gleichmäßigen Kurvenverlauf, hervorgerufen durch außergewöhnliche klimatische Bedingungen während der Untersuchungen von KELLER, wurden ausgeglichen und die prozentualen Feuchtigkeitsveränderungen in absolute Zahlen umgewandelt, so daß sich folgender in Tab. 11 dargestellter Verlauf ergab, in dem jedem Monat eine bestimmte "Trocknungsrate" (x) zugeordnet wurde. Die Trocknungsraten entsprechen damit jedoch nicht der prozentualen monatlichen Austrocknung des Rundholzes, sondern geben die Relation der Austrocknung in den einzelnen Monaten zur Gesamtaustrocknung wieder.

Tab. 11: Verlauf der monatlichen Trocknungsraten

Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x ¹⁾	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	4,5	3,0	2,5	2,0	1,5

¹⁾ x = monatliche Trocknungsrate

Basierend auf diesem Verlauf, wurde in einem ersten Schritt die Summe der Ausgangsraten für die jeweiligen Monate der Lagerung des Rundholzes nach folgender Formel mit dem Wassergehalt in Beziehung gesetzt:

$$F_u = f (\sum x_i)$$

Setzt man anstelle des Ausdrucks $\sum x_i$ den Buchstaben F, so ergibt sich:

$$(1) F_u = f (F) \quad F = x_i$$

Da aus den obigen Ergebnissen geschlossen werden mußte, daß sich die Trocknungsraten bei den beiden Bereitstellungsmodellen (Wald- bzw. Werksentrindung) unterschiedlich auswirkten, wandte man die Formel zunächst für die Betriebe mit Werksentrindung, die Betriebstypen II und III, an, da hier auch das größte Datenmaterial zur Verfügung stand. Dabei ergab sich folgende Abhängigkeit:

$$F_u = - 0,572 F + 57,442$$

$$R = - 0,425$$

$$\text{sign.} = 0,000$$

Obwohl Korrelationskoeffizient und Signifikanz befriedigten, entsprach die Gleichung nicht den in der Praxis ermittelten Werten: Bei kurzen Lagerzeiten bzw. Lagerungen im Winter und Herbst ergab sich rechnerisch ein zu hoher Wassergehalt, bei langen Lagerdauern bzw. Lagerungen im Sommer lagen die theoretischen Werte unter den im Versuch ermittelten Ergebnissen. Dies deutete im Zusammenhang mit dem zu geringen Ausgangswert von 57,4 % darauf hin, daß für längere Lagerdauern die Summe der Austrocknungsraten zu hoch ist und eine Angleichung durch eine Reduzierung ihres Einflusses mit zunehmender Lagerdauer zu erreichen sein dürfte. Daher ergänzte man die Formel um die Korrekturgröße - Lagerdauer (LD). Da gleichzei-

tig jedoch abzusehen war, daß sich hierdurch bei kurzen Lagerdauern, vor allem im Winter und im Frühjahr, eine zu geringe summarische Trocknungsrate ergeben würde, fügte man zusätzlich die Korrekturgröße +1 ein. Damit ergab sich:

$$(2)F_u = f(F) \quad F = x_1 - LD + 1$$

Die Anwendung dieser Formel ergab bei hohem Korrelationskoeffizient eine gute Übereinstimmung zwischen dem experimentellen Ergebnis für wald- bzw. werksentrindetes Holz und dem rechnerischen Modell. Lediglich in dem Bereich der kleinen F-Werte wich die theoretisch ermittelte Gerade stärker von den Versuchswerten ab. Daher wurde in einem weiteren Schritt, F auf < 12 beschränkt und die Korrelation noch einmal errechnet. Bei einem wesentlichen Anstieg des absoluten Wertes und zunehmendem Gefälle der Kurve ergab sich eine noch engere Korrelation. Da diese bei dem Versuch, die Beziehung durch eine Gleichung höherer Ordnung darzustellen stets wesentlich absank, beschrieb man die Korrelation zwischen dem Wassergehalt und der Kombination (F) von Lagerdauer und Einschlagszeitpunkt durch jeweils zwei Ausgleichsfunktionen, die in Abb. 21 und 22 dargestellt sind. Bei einem Vergleich der Ergebnisse für das Hackschnitzelmaterial aus wald- bzw. werksentrindetem Holz fällt zunächst auf, daß bei dem ersten Bereitstellungsmodell die Ausgangsfeuchtigkeit sehr gering ist und auch die Austrocknungsraten entgegen der Erwartung bei beiden Ausgleichsgeraden dieses Bereitstellungsmodells wesentlich geringer als bei dem werksentrindetem Holz sind. Zum einen weisen die Korrelationskoeffizienten darauf hin, daß die angesprochenen Geraden nicht im gleichen Maße wie bei dem anderen Bereitstellungsmodell abgesichert sind. Dies ist schon durch den wesentlich geringeren Probeumfang zu er-

Abb. 21: Abhängigkeit des Wassergehalts (F_u) der Restholzackschnitzel aus waldentzündetem Sägeholz von der jahreszeitbezogenen Lagerdauer (F)

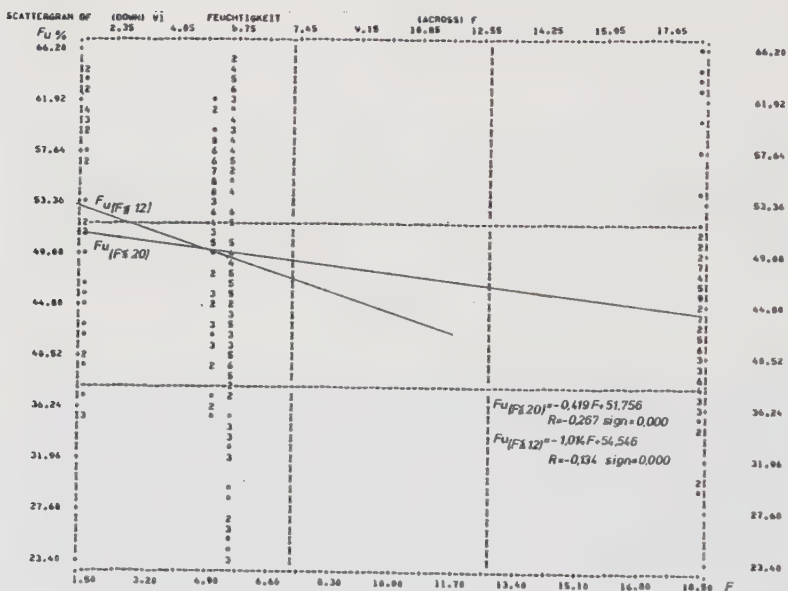
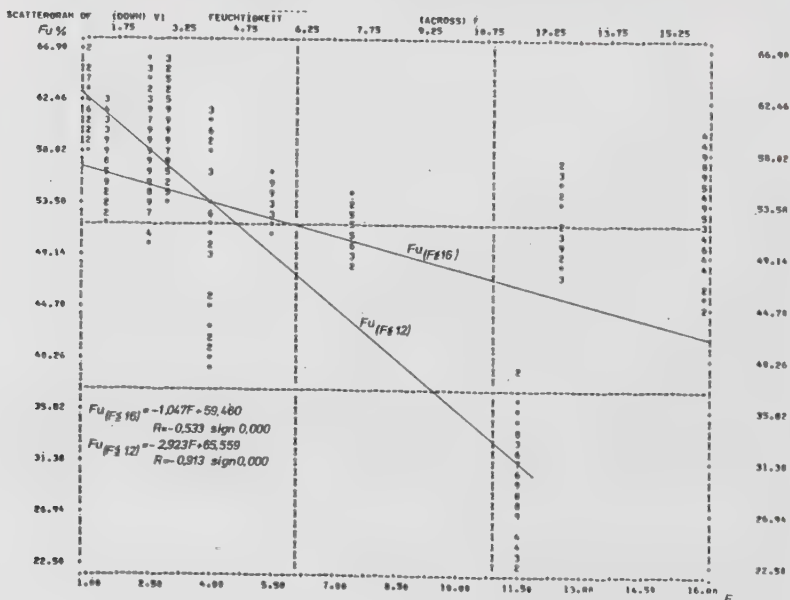


Abb. 22: Abhängigkeit des Wassergehalts (F_u) der Restholzackschnitzel aus werkseutzündetem Sägeholz von der jahreszeitbezogenen Lagerdauer (F)



klären. Darüber hinaus traten besonders im Betriebstyp I große Lagerdauern auf, so daß vor allem der Bereich der kleinen F-Werte schlechter abgesichert ist, worauf besonders die festgestellte geringe Anfangsfeuchtigkeit zurückzuführen sein dürfte. Zum anderen ist davon auszugehen, daß waldentrindetes Holz unabhängig von der Jahreszeit in den ersten Lagerungsmonaten, die in der Untersuchung nur schwach repräsentiert sind, besonders stark austrocknet. Zusammenfassend läßt sich jedoch feststellen, daß bei gleichen Lagerungsbedingungen Hackschnitzel aus waldentrindetem Rundholz einen erheblich niedrigeren Wassergehalt aufweisen.

4.3.2.3 Einflüsse der Einschnittsmodalitäten auf den Wassergehalt

Aufgrund des Feuchtigkeitsgefälles im Rundholz wird der Wassergehalt des Sägerestholzes durch die Wahl des Einschnittsprogramms, charakterisiert durch Haupt- und Nebenprodukt sowie die Ausbeute, bestimmt: Je dünner die Schwarten und Spreiße sind, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, daß das Restholz lediglich den Splint umfaßt und damit im frischen Zustand eine höhere Feuchtigkeit aufweist. Andererseits trocknet während der Lagerung der Splint zuerst aus. Damit wäre die Bedeutung der Frage, welchen Einfluß die Dicke der Schwarten und Spreiße auf die Feuchtigkeit besitzt von besonderem Interesse. Da jedoch der meßtechnische Aufwand zur Ermittlung der Dicke, der Schwarten und Spreiße im Rahmen der Untersuchung zu umfangreich war, konnte diesem Problem nicht weiter nachgegangen werden. Tab. 9 ist zu entnehmen, daß der Wassergehalt der Spreiße in der Regel unter dem der Schwarten lag. Jedoch ergab eine Überprüfung der jeweiligen Feuchtigkeitswerte,

daß diese Unterschiede nicht signifikant waren. Dies wäre auch unter Berücksichtigung der oben angestellten Erörterungen nur schwer zu erklären gewesen.

4.3.2.4 Zusammenfassung

Ein Vergleich des durchschnittlichen Wassergehalts des Hackschnitzelmaterials in den drei Betriebstypen ergab, daß das Restholz aus waldentrindetem Holz (Betriebstyp I) in beiden Versuchsreihen einen deutlich geringeren Wassergehalt aufwies als das Hackschnitzelmateriale aus werksentrindetem Holz (Betriebstyp II und III). Dies ist zum einen auf die deutlich längere durchschnittliche Lagerung des entrindeten Rundholzes bei den entsprechenden Werken zurückzuführen. Durch die Kopplung von Einschlagszeitpunkt und Lagerdauer zur monatsbezogenen Trocknungsrate konnte der Trocknungsverlauf des Rundholzes für die beiden Bereitstellungsmodelle nachvollzogen werden. Es ließ sich dagegen nicht zweifelsfrei nachweisen, daß die geringere Feuchtigkeit des Hackschnitzelmateriale im Betriebstyp I durch eine andersartige Gewichtung der Austrocknungsraten bei waldentrindetem Holz verursacht wird. Die Unterschiede in bezug auf den Wassergehalt zwischen den Betriebstypen II und III dürften im wesentlichen durch die etwas geringere Lagerdauer des Rundholzes im letzteren Betriebstyp bedingt sein.

Mit zunehmender Jahrringbreite nimmt der Wassergehalt ab. Als Ursache könnte der geringere Verdunstungswiderstand bei weithumigen Holz angenommen werden.

4.3.3 Rindenanteil

Zur Ermittlung des Rindenanteils wurde vor dem Einschnitt in einem ersten Schritt die Entrindungsqualität des für die Untersuchung vorgesehenen Gattersatzes, unterteilt in die Klassen "gut" (1), "befriedigend" (2) und "schlecht" (3), erhoben (s. Abschn. 4.2.1). Danach ermittelte man anhand der in den Abschnitten 4.1.5.2 und 4.2.2 dargestellten Verfahren den exakten Rindenanteil - lutro (Ri_l) und - atro (Ri_a). Die Ergebnisse für die beiden Merkmale in den einzelnen Betrieben und Betriebstypen, aufgeteilt nach den beiden Versuchsreihen, sind in Tab. 12 dargestellt. Dabei lagen für den Betriebstyp I in der ersten Versuchsreihe keine Werte für die Entrindungsqualität vor. In der zweiten Versuchsreihe wurden die Werte des Betriebs 3 nicht berücksichtigt, da z. T. unentrindetes Holz zum Einschnitt kam, was das Ergebnis für den Betriebstyp I unzulässig verschlechtert.

Bei einer Betrachtung des Rindenanteils - lutro und - atro fällt auf, daß sich im feuchten Zustand ein im Durchschnitt 20 - 30 % höherer Rindenanteil als im trockenen Zustand ergibt. Daß dieser Unterschied signifikant ist, wurde bereits in Kapitel 4.3.1 nachgewiesen. Daraus ergäbe sich, daß die Rinde um 20 - 30 % feuchter als das Holz wäre. Hierfür liegt jedoch keine einleuchtende Erklärung vor. Vielmehr weist die Tatsache, daß dieses Phänomen auch bei hohen Holzfeuchtigkeiten beobachtet wurde darauf hin, daß die beobachteten Unterschiede auf einem systematischen Fehler bei der Erhebung beruhen. Dieser dürfte darin bestehen, daß bei der chemischen Trocknung und bei der Trocknung mit Hilfe der Darr-

Tab. 12: Die Entrindungsqualität und der Rindenanteil - lutro (R_{l_1}) und - atro (R_{a_1}) in den einzelnen Betrieben und Betriebstypen^a

Betr. Typ	Betr. Probe- Nr., art.	Versuchsreihe I					Versuchsreihe 2					Entr. qual.	
		$R_{I_1} (\%)$					$R_{I_2} (\%)$						
		$\bar{x}$	s^2	V	$\bar{x}$	V	$\bar{x}$	s^2	V	$\bar{x}$	s^2		V
I	N	4,38	2,70	37,51	3,08	1,17	0,80	1,19	13,61	0,61	0,69	135,00	3
	Schw	3,53	3,83	55,51	2,31	1,68	1,00	2,43	136,00	0,68	1,12	155,70	3
	Sp	3,19	4,05	63,03	1,93	1,44	0,17	0,10	188,90	0,10	0,04	198,30	3
	N	6,13	31,29	91,30	3,91	12,57	2,73	5,02	82,04	2,21	2,38	83,10	3
II	Schw	7,62	42,63	85,61	5,52	23,89	3,67	15,37	106,70	3,44	12,47	102,60	3
	Sp	7,43	35,60	80,28	5,72	22,10	4,12	10,83	80,32	3,81	8,45	76,34	3
	N						26,26	273,50	62,70	24,81	327,00	72,88	4
	Schw						16,46	222,60	90,61	11,44	134,70	101,40	4
III	Sp						11,46	66,25	71,02	6,93	22,12	67,87	4
	N						2,13 ¹⁾	5,12 ¹⁾		1,81 ¹⁾	3,34 ¹⁾		3 ¹⁾
	Sp												
	Summe I	5,78	5,10		4,06	3,77							
IV	N	0,52	0,46	129,90	0,44	0,39	2,68	11,20	124,90	1,72	4,59	124,40	3
	Schw	0,16	0,06	150,40	0,15	0,04	1,15	0,79	77,06	0,82	0,26	62,08	3
	Sp	0,09	0,02	141,70	0,09	0,02	0,47	0,19	93,39	0,38	0,11	97,40	3
	N	0,15	0,04	131,30	0,14	0,03	1,00	0,39	62,72	0,59	0,17	62,82	2
V	Schw	0,02	0,01	311,90	0,02	0,01	0,87	0,55	62,74	0,50	0,13	79,15	2
	Sp	0,22	0,16	180,50	0,20	3,46	1,51	0,84	60,78	1,03	0,63	80,00	2
	N	0,19	0,04	108,50	0,19	0,04	1,10	0,70	75,91	0,80	0,40	79,29	3
	Schw	0,10	0,01	17,67	0,10	0,01	1,94	3,49	95,28	1,34	1,57	93,28	3
VI	Sp	0,10	0,01	17,67	0,10	0,01	1,22	0,40	51,68	0,77	0,13	47,25	3
	N												
	Sp												
	Summe II	0,15	0,28		0,15	0,26	1,32	1,52		0,89	1,01		2,7
VII	Ps	0,19	0,06	126,80	0,16	0,04	0,87	0,48	79,56	0,54	0,17	75,19	3
	Pa	0,30	0,10	102,90	0,20	0,04	0,99	1,04	103,1	0,60	0,36	99,91	3
	Pa	0,41	0,35	146,40	0,28	0,17	0,46	0,18	92,23	0,44	0,17	93,71	1
	Ps	0,16	0,06	154,40	0,13	0,04	0,07	0,01	100,40	-	-	-	3
Summe III		0,24	0,33		0,18	0,25	0,61	0,77		0,41	0,55		2,5

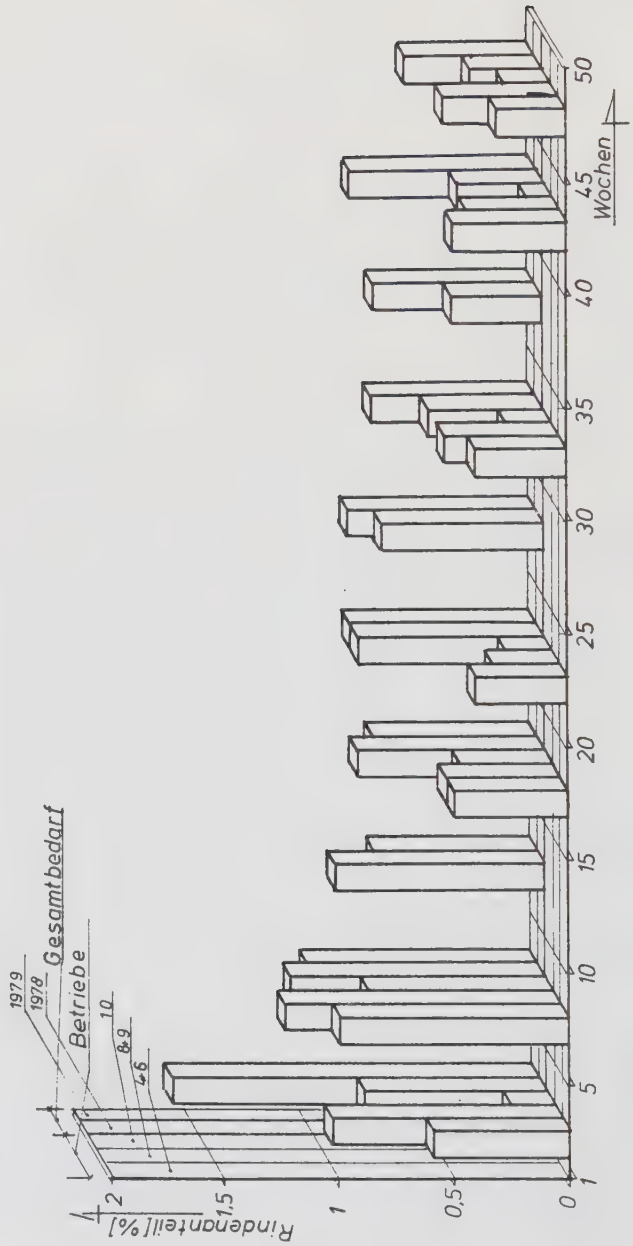
¹⁾ ohne Betrieb 3

methode neben dem Wasser erhebliche Anteile der ätherischen Inhaltstoffe verdunsten. Damit war im Rahmen dieser Untersuchung nicht nachzuweisen, ob und in welchem Maße Unterschiede zwischen der Feuchtigkeit des Holzes und der Rinde vorliegen. Daher wird im folgenden nur noch mit dem direkt ermittelten Rindenanteil - feucht gearbeitet.

Bei einem Vergleich der Werte des Rindenanteils, wie sie sich für die verschiedenen Betriebe und Betriebstypen in den beiden Versuchsreihen ergaben, ist mit Ausnahme für den Betriebstyp I festzustellen, daß in der zweiten Versuchsreihe ein wesentlich höher Rindenanteil anfiel und die Entrindungsqualität erheblich schlechter war. Dies beruht, wie in den folgenden Abschnitten noch nachgewiesen wird, vor allem auf den unterschiedlichen Entrindungszeitpunkten. Ein Vergleich zwischen den Ergebnissen bei den drei Betriebstypen zeigt, daß sowohl die Entrindungsqualität als auch der Rindenanteil des Hackschnitzelmateri als bei den Betrieben, die waldentrindetes Holz verarbeiten (Betriebstyp I), die höchsten Werte aufweisen. Der Unterschied zu den beiden anderen Betriebstypen ist besonders beim Rindenanteil sehr erheblich. Dabei weisen diese wiederum untereinander einen, wenn auch wesentlich geringeren, so doch signifikanten Unterschied auf: Der Rindenanteil bei den Profilsplanerwerken (Betriebstyp III) ist geringer als bei den Gattersägewerken mit Werksentrindung (Betriebstyp II).

Um festzustellen, ob die in der Untersuchung ermittelten Rindenanteile und deren jahreszeitliche Veränderung für die Betriebe und Betriebstypen charakteristisch sind, wurde in Abb. 23 anhand der Betriebseingangskontrollen der HAINDL PAPIER GmbH, die den größten Teil der Hackschnitzel der untersuchten Betriebe verarbeitete, die Entwicklung des Rindenge-

Abb. 23: Jahreszeitliche Entwicklung des Rindenanteils für in der Untersuchung berücksichtigte Betriebsgruppen und die Gesamtlieferungen für die Jahre 1978 und 1979 anhand der Betriebseingangskontrollen



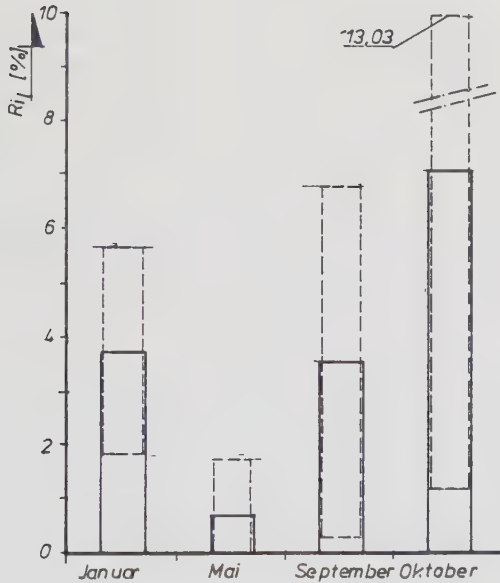
halts für die Betriebe 4 und 6, 8 und 9 sowie 10 im Jahre 1978, die zusammengefaßt die Betriebstypen II und III repräsentieren, dargestellt. Da die Lieferungen dieser Betriebe jedoch zum einen den jahreszeitlichen Verlauf nicht voll abdeckten und sich aufgrund der geringen Anzahl der Lieferungen pro Betriebstyp ein doch noch sehr großer Variationsrahmen ergab, wurden als Hintergrund die Ergebnisse der Betriebseingangskontrolle bezüglich des Rindenanteils auf der Basis des gesamten Hackschnitzelmaterials, das ein Werk des Unternehmens in den Jahren 1978 und 1979 bezogen hatte, aufgeführt. Bei einem Vergleich der Tab. 12 und Abb. 23 läßt sich feststellen, daß die im Rahmen der Untersuchung beobachteten Werte, wenn man von einigen Extrema absieht, recht gut mit den Ergebnissen der Betriebseingangskontrolle übereinstimmen. Ferner läßt sich aus Abb. 23 die Tendenz ablesen, daß zu Jahresbeginn der Rindenanteil recht hoch ist, dann zur Jahresmitte hin abfällt und sich danach wieder leicht erhöht. Dies steht auch in Übereinstimmung mit dem aufgrund der in Tab. 12 dargestellten Ergebnissen festgestellten Unterschied zwischen beiden Versuchsreihen, die ihre zeitlichen Schwerpunkte im Sommer bzw. Winter hatten. Nachdem hiermit die Versuchsergebnisse bezüglich des Rindenanteils dargestellt und auf der Basis der betrieblichen Praxis auf ihre Repräsentativität abgesichert worden sind, gilt es im folgenden zu erkunden, welche Faktoren die recht erheblichen Schwankungen des Rindenanteils im Hackschnitzelmaterial bedingen. Dabei faßte man die Vielzahl der im Rahmen der Untersuchung erhobenen möglichen Einflußfaktoren unter den drei Komplexen Rundholzeigenschaften sowie Bereitstellungs- und Einschnittsmodalitäten zusammen.

4.3.3.1 Einfluß der Rundholzeigenschaften auf den Rindenanteil

Die Qualität der Entrindung wird neben den maschinellen Gegebenheiten vor allem durch die Rundholzeigenschaften beeinflusst, wobei diese sich z. T. während der Lagerung verändern. Von entscheidender Bedeutung ist dabei die jahreszeitlich schwankende Aktivität des Kambiums: Während der Vegetationszeit ist der Schäl- bzw. Entrindungswiderstand wesentlich geringer als während der Vegetationsruhe. Diesen Zusammenhang ermittelten SACHSSE (1955) bei der Entrindung von Stammholz mit Schälseisen, ZIEGER (1960) für den Entrindungswiderstand allgemein und KELLER (1973, 100 ff.) für Schleifholz bei der Entrindung in Schongau-Trommeln. Damit ist der Entrindungswiderstand abhängig vom Einschlagszeitpunkt. Um zu überprüfen, inwieweit sich diese Gegebenheit in den Untersuchungsergebnissen niederschlägt, wurde der Rindenanteil mit dem Einschlagszeitpunkt des Rundholzes in Beziehung gesetzt, wobei eine Trennung nach wald- bzw. werksentrindetem Holz (Betriebstyp I bzw. Betriebstyp II + III) erfolgte. In Abb. 24 ist das Ergebnis für den Betriebstyp I dargestellt.

Obwohl nur für vier Monate Werte vorlagen, scheinen sie die oben angesprochene Tendenz, daß sich im Sommer eingeschlagenes Holz besser entrinden läßt und damit ein geringerer Rindenanteil erhalten wird, zu bestätigen. Für die Betriebe mit Waldentrindung war das Ergebnis noch undeutlicher. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, daß der Einfluß des Einschlagszeitpunkts bei geringem Probeumfang nach der Lagerung durch andere Faktoren überlagert wurde und damit nicht mehr deutlich werden konnte.

Abb. 24: Einfluß des Einschlagszeitpunktes auf den Rindenanteil (R_{I_1}) (Betriebstyp I)



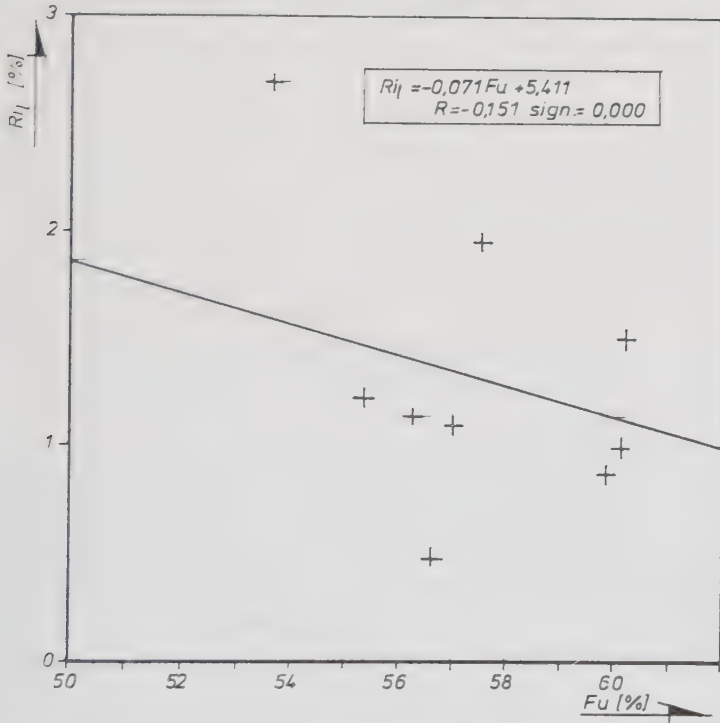
Als weiteres galt es zu prüfen, welchen Einfluß die Feuchtigkeit auf die Entrindungsqualität ausübt. SACHSSE (1955), ZIEGER (1960) und KELLER (1973, 100 ff.) ermittelten für andere Holzsortimente, daß mit zunehmender Feuchtigkeit der Entrindungswiderstand ab- und die Entrindungsqualität zunimmt. Damit wäre davon auszugehen, daß bei der Waldentrindung (Betriebstyp I), wenn das Holz noch die Frischfeuchtigkeit besitzt, optimale Entrinderungsergebnisse erzielt werden müßten. Dies

war jedoch in der vorliegenden Untersuchung nicht der Fall. Bei werksentrindetem Holz ging man aufgrund der geringen Zeitspanne zwischen Entrindung und Einschnitt davon aus, daß zum Entrindungszeitpunkt das Holz die gleiche Feuchtigkeit aufwies, die dann am Hackschnitzelmaterial ermittelt wurde. Sie lag je nach Lagerdauer in den verschiedenen Jahreszeiten z. T. wesentlich unter der Frischfeuchtigkeit. Da in mehreren Fällen unvorhergesehene Ereignisse, vor allem Frosteinwirkungen und Lagerung des Holzes zwischen Entrindung und Einschnitt, außerordentliche Verhältnisse schafften, konnte lediglich beim Betriebstyp III in der zweiten Versuchsreihe ein Zusammenhang zwischen dem Wassergehalt des Rundholzes und dem Rindenanteil des Hackschnitzelmaterials hergeleitet werden (s. Abb. 25).

Die Korrelation ist zwar mit $R = - 0,151$ nicht sehr eng, aber bei 270 Fällen signifikant abgesichert. Danach erhöht sich der Rindenanteil beim Absinken der Feuchtigkeit um 10 % um durchschnittlich 0,7 %. Damit beeinflußt die Feuchtigkeit des Rundholzes zum Zeitpunkt der Entrindung den Rindenanteil des Hackschnitzelmaterials sehr wesentlich.

Außer von der Feuchtigkeit und dem Zustand des Kambiums als innere Holzmerkmale waren von der äußeren Form des Rundholzes Auswirkungen auf die Entrindungsqualität und damit auch auf den Rindenanteil im Hackschnitzelmaterial zu erwarten. Von diesen bot sich als erstes der Durchmesser an. Zwar wäre, wenn man von ideal zylindrisch- bzw. kegelstumpfförmigen Rundhölzern ausgeht, der Durchmesser für die Entrind-

Abb. 25: Auswirkungen der Feuchtigkeit (F_u) des Holzes auf den Rindenanteil (R_{11}) (Betriebstyp II, zweite Versuchsreihe)



rindungsqualität irrelevant, da jedoch zwischen Stark- und Schwachholz z. T. Unterschiede bezüglich der Stammform und dem Rindenaufbau vorlagen, konnte ein entsprechender Zusammenhang vermutet werden. Um die Einflüsse der unterschiedlichen Bereitstellungsmodalitäten auszuschalten und da in dem Betriebstyp I nur Starkrestholz verarbeitet wurde, wodurch der Durchmesser nur wenig schwankte, wurde diese Prüfung lediglich bei dem Hackschnitzelmaterial aus werksent-

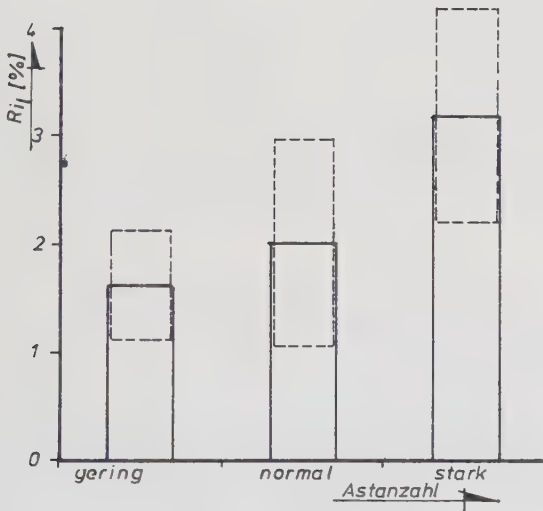
rindetem Holz (Betriebstyp II + III) durchgeführt. Die entsprechende Korrelation war jedoch nur schwach abgesichert und wies mit einer Zunahme des Rindengehalts um 0,1 % bei einem Anstieg des Durchmessers um 10 cm nur einen geringen Zusammenhang auf.

Neben den mit dem Durchmesser verbundenen Unregelmäßigkeiten der Stammform galt es die Auswirkungen der Astigkeit auf die Entrindungsqualität zu prüfen, wobei in diesem Zusammenhang die Astanzahl und Astdimension von Interesse sein dürfte. Beide Merkmale wurden bei der Aufnahme der Sägebloche durch die Unterteilung des Rundholzes in jeweils drei Klassen aufgenommen. Es ergab sich jedoch, wenn man von dem Betrieb 3 absieht, bei dem, wie berichtet, extreme Verhältnisse bezüglich des Rindenanteils vorlagen, daß bei dem Einschnittsversuch fast ausschließlich Rundhölzer mit "normaler" Astanzahl und vorwiegend ausgeglichener Aststärke vorkamen. Auf der Basis des gesamten Probematerials zeigte sich für die Beziehung zwischen der Astanzahl und dem Rindenanteil die in Abb. 26 dargestellte Tendenz, daß sich mit zunehmender Astanzahl der Rindenanteil des Hackschnitzelmaterials deutlich erhöht. Ferner ergab sich für die Beziehung zwischen der Astdimension (AST 2) und dem Rindenanteil folgende Gleichung:

$$Ri_1 = 0,488 \text{ AST}2 + 0,119 \quad R = 0,215 \quad \text{sign.} = 0,000$$

Daraus kann abgeleitet werden, daß Grobastigkeit einen ca. 1 % höheren Rindenanteil bedingt.

Abb. 26: Auswirkungen der Astanzahl auf den Rindenanteil (R_{II})



Damit ergeben sich zusammenfassend folgende Einflüsse der Rundholzeigenschaften auf die Entrindungsqualität und den Rindenanteil des Hackschnitzelmaterials:

- die Ergebnisse des Betriebstyps I (Waldentrindung) legen den Schluß nahe, daß sich bei dem in der Vegetationsperiode eingeschlagenen Rundholz eine bessere Entrindungsqualität und damit ein geringerer Rindenanteil im Restholz ergibt.

- Die Abhängigkeit der Entrindungsqualität von der Feuchtigkeit ließ sich nicht für alle Daten nachweisen, jedoch ermittelte man bei den Gattersägewerken mit Werksentrindung der zweiten Versuchsreihe einen Anstieg des Rindenanteils im Hackschnitzelmaterial um 0,7 % bei einer Verringerung der Feuchtigkeit von 10 %.
- Während der Rundholzdurchmesser keinen wesentlichen Einfluß auf den Rindenanteil zu haben scheint, nimmt mit steigender Astanzahl und größerem Astdurchmesser der Rindenanteil des Hackschnitzelmaterials wesentlich zu.

4.3.3.2 Einfluß der Bereitstellungsmodalitäten auf den Rindenanteil

Von den Bereitstellungsmodalitäten schienen die Entrindungs-technik und der Entrindungsort von besonderer Bedeutung für die Entrindungsqualität zu sein. Dabei galt es zwischen der Handentrindung und der maschinellen Entrindung mobil und stationär zu unterscheiden. Dabei ergab sich bei dem waldentrindeten Holz eine besonders große Vielfalt: Während das Holz des Betriebs 1 aus der ersten Versuchsreihe, des Betriebs 2 aus der zweiten Versuchsreihe und des Betriebs 3 handentrindet waren, hatte man das Rundholz des ersten Betriebes in der zweiten Versuchsreihe mit einer mobilen Loch-Rotor-Entrindungsmaschine und des Betriebs 2 in der ersten Versuchsreihe mit einer ETE - das Entrindungsaggregat besteht aus einem Messeraggregat, durch welches das Holz hindurchgezogen wird - entrindet. Dabei ergab sich, daß die Hackschnitzel aus dem mit der ETE entrindetem Rundholz im Betrieb 2 den höchsten Rindenanteil aufwiesen, gefolgt von den Hackschnitzeln aus handentrindetem Rundholz, während sich aus dem

mit einem Loch-Rotor entrindetem Rundholz Hackschnitzel mit einem relativ geringen Rindenanteil ergaben, die durchaus mit den Ergebnissen bei werkseintrindetem Holz vergleichbar sind. Damit konnte das von LEINERT (1973, 40 f.) gefundene Ergebnis, daß die stationäre maschinelle Entrindung der mobilen überlegen sei, nicht bestätigt werden, dies bedeutet jedoch keinen Widerspruch, da in der eigenen Untersuchung nur einmal die Ergebnisse der mobilen maschinellen Entrindung aufgenommen wurden. Gleiches gilt für die Ergebnisse mit der ETE, wobei es sich hier jedoch nicht um eine untypische Beobachtung handeln dürfte.

Ferner war zu prüfen, welchen Einfluß der Entrindungszeitpunkt bei Werkseintrindung auf die Entrindungsqualität und damit auf den Rindenanteil des Hackschnitzelmaterials ausübt. Das Ergebnis ist in Tab. 13 wiedergegeben. Danach nimmt die Entrindungsqualität im Jahresverlauf zu, womit sich parallel der Rindenanteil im Hackschnitzelmaterial verringert. Die Korrelationskoeffizienten $R = -0,87$ bzw. $R = -0,357$ weisen nach, daß dieses Ergebnis nicht zufälliger Natur ist. Eine Interpretation fällt dagegen schwer. Eine Verknüpfung mit der Vegetationsperiode oder den jahreszeitlich schwankenden Klimata deckt lediglich den hohen Rindenanteil in den ersten Jahresmonaten ab, während jedoch die niedrigen Werte von August und November unerklärt bleibt. Um zu prüfen, ob der hohe Rindenanteil und die geringe Entrindungsqualität im Winter und frühen Frühjahr durch die winterlichen Bedingungen, d. h. durch Frost hervorgerufen worden sind, erfolgte

Tab. 13: Abhängigkeit des Rindenanteils (Ri_1) und der Entrindungsqualität (ENTR) vom Verarbeitungszeitpunkt (VAZ) für die Betriebe mit Werksentrindung

Ri_1	$\bar{x} \%$	1,4	1,0	1,1	0,2	0,8	0,1	0,1	0,2
	s %	1,3	1,0	1,5	0,3	1,1	0,3	0,1	0,4
ENTR	$\bar{x}$	3,0	3,0	2,6	2,0	1,6	1,3	1,0	1,0
	s	0,0	0,0	0,5	0,0	0,5	0,5	0,0	0,0
VAZ (Monat)		J	F	M	A	J	J	A	N

eine separate Prüfung. Bei drei Proben in den Betriebstypen II und III war beobachtet worden, daß die Entrindung und der Einschnitt während einer längeren Frostperiode erfolgt war. Daher stellte man die Ergebnisse dieser Probeeinschnitte den Daten, die sich in dem gleichen Betrieb unter normalen Bedingungen ergeben hatten, gegenüber und führte einen T-Test durch (s. Tab. 14).

Tab. 14: Abhängigkeit des Rindenanteils (Ri_1) von Frosteinwirkungen zum Zeitpunkt der Entrindung

Betriebstyp III			Betriebstyp II	
Holz-zustand	$\bar{x}$	Ri_1 (%) s	$\bar{x}$	Ri_1 (%) s
ungefroren	0,23	0,29	1,17	0,20
gefroren	0,52	0,71	0,95	1,23
Sign. ¹⁾ niveau	0,004		0,000	

¹⁾ These: Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen dem Rindenanteil von gefrorenem und ungefrorenem Holz

Aus dem T-Test ergibt sich, daß der Rindenanteil in beiden Betriebstypen bei Frosteinwirkungen signifikant größer ist.

Abschließend galt es prüfen, ob ein Zusammenhang zwischen der Lagerdauer und der Entrindungsqualität bzw. dem Rindenanteil des Hackschnitzelmaterials besteht. Eine entsprechende Betrachtung ist jedoch nur bei der Werksentrindung sinnvoll, wenn man davon ausgeht, daß die Waldentrindung direkt bzw. sehr bald nach dem Einschlag vorgenommen wird. Während der Lagerung des Holzes in Rinde trocknet es, wenn auch nur langsam aus. Gleichzeitig vollziehen sich, vor allem bei längerer Lagerdauer in feuchtem Milieu Abbauvorgänge. Beide Vorgänge dürften sich jedoch gegenläufig auf die Entrindungsqualität und den Rindenanteil auswirken. Die entsprechende Erhebung ist in Tab. 15 dargestellt.

Tab. 15: Einfluß der Lagerdauer (LD) auf den Rindenanteil (Ri_1) des Hackschnitzelmaterials aus werksentrindetem Holz

$Ri_1(\%)$	$\bar{x}$	1,00	0,68	0,99	0,16	0,07	0,13
	s	1,12	1,43	0,77	0,24	0,071	0,27
LD Monate		1	3	4	5	6	8

Danach ergibt sich, daß in der Untersuchung der Rindenanteil des Hackschnitzelmaterials mit zunehmender Lagerdauer abnahm. Aufgrund des geringen Korrelationskoeffizienten im Zusammenhang mit den nur wenigen Beobachtungen, kann die ermittelte Beziehung nicht als abgesichert betrachtet werden.

Damit ergeben sich zusammenfassend folgende Zusammenhänge zwischen den Bereitstellungsmodalitäten und dem Rindenanteil:

- Bei der mobilen maschinellen Entrindung im Wald ergaben sich in bezug auf den Rindenanteil bei der Loch-Rotor-Entrindung ein sehr günstiges, bei Entrindung mit der ETE ein sehr schlechtes Ergebnis. Beide Maschinentypen wurden jedoch nur einmal angetroffen.
- Bei der Handentrindung ergab sich stets ein Rindenanteil über 2 %.
- Damit schnitt die Werksentrindung insgesamt gegenüber der Waldentrindung wesentlich günstiger ab.
- In den Betrieben mit Werksentrindung nahm der Rindenanteil im Hackschnitzelmateriale in den Fällen signifikant zu, wenn die Entrindung während einer Frostperiode erfolgt war.

4.3.3.3 Einfluß der Einschnittsmodalitäten auf den Rindenanteil

Je nach Rundholzdimension und entsprechendem Einschnittsprogramm gestaltet sich der Anfall von Schwarten und Spreißeln bzw. Hackschnitzeln in Profilsplanerwerken. Dadurch ergibt sich, wenn das Rundholz einen gleichmäßigen Rindenanteil aufweist, daß mit zunehmender Haupt- und Nebenproduktausbeute der Rindenanteil im Restholz ansteigt. Da es jedoch nicht gelungen war, wie in Abschn. 4.3.2.3 beschrieben, die Abmessungen der einzelnen Restholzstücke in Abhängigkeit von Einschnittsprogramm und Durchmesser direkt zu ermitteln, verblieb zu prüfen, ob zwischen dem Rindenanteil der Swarten und Spreißel ein signifikanter Unterschied besteht. In Tab. 16 werden die Rindenanteile, wie sie sich in den Betriebstypen I und II für die Swarten und Spreißel ergeben haben, einander gegenübergestellt und ein T-Test auf signifikante Unterschiede durchge-

führt. Dabei ergibt sich aufgrund der Signifikanzniveaus, daß zwischen den beiden Hackschnitzelsortimenten bezüglich des Rindenanteils kein signifikanter Unterschied besteht.

Tab. 16: Prüfung des Rindenanteils (Ri_1) der Schwarten (Schw) und Spreißel (Sp) mit Hilfe des T-Test auf signifikante Unterschiede

		Betriebstyp	
		I Ri_1 %	II Ri_1 %
Schw	$\bar{x}$	6,86	0,75
	s	10,07	1,15
Sp	$\bar{x}$	5,40	0,68
	s	6,49	0,78
Sign. 1) niveau		0,187	0,450

1) These: Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen dem Rindenanteil der Schwarten und der Spreißel

4.3.3.4 Zusammenfassung

Ein Vergleich des Rindenanteils der Hackschnitzel in den Betriebstypen I - III ergab, daß bei waldentrindetem Holz (I) ein deutlich höherer Rindenanteil auftrat als bei werksentrindetem Holz (II und III). Zwischen den Betriebstypen II und III konnte ebenfalls eine gesicherte Differenz festgestellt werden, wobei der Betriebstyp III den geringsten Rindenanteil aufwies.

Entscheidenden Einfluß auf dieses Ergebnis übten die Entrindungsverfahren aus. So wurde der Rindenanteil im Betriebstyp I durch die schlechte Entrindungsqualität bei der Handentrindung und der maschinellen Entrindung mit der ETE erzielt.

Ferner zeigte sich, daß von den Rundholzeigenschaften die Astigkeit die Entrindungsqualität stark beeinflußt: mit zunehmender Astanzahl und -stärke nahm die Entrindungsqualität ab und erhöhte sich parallel der Rindenanteil im Hackschnitzelmaterial.

Im Frühjahr und Sommer (Versuchsreihe 1) ergab sich gegenüber Herbst und Winter (Versuchsreihe 2) ein wesentlich geringerer Rindenanteil im Hackschnitzelmaterial. Dies ist zum einen von der jahreszeitlich bedingten unterschiedlichen Aktivität des Kambiums abhängig. So konnte für den Betriebstyp I in der Vegetationsperiode ein deutlich geringerer Rindenanteil im Hackschnitzelmaterial beobachtet werden. Zum anderen stieg bei der Entrindung von gefrorenem Holz der Rindenanteil signifikant an.

4.3.4 Weißgrad

Die Helligkeit des Holzes steht nach MELTZER (1966, 50 ff.) und KELLER (1973, 119 ff.) in einer engen Beziehung zum Weißgrad des daraus erzeugten Holzschliffs und Zellstoffs. So ermittelte KELLER folgende Abhängigkeit zwischen dem Weißgrad des Holzschliffs (WG_S) und dem des Holzes (WG_H):

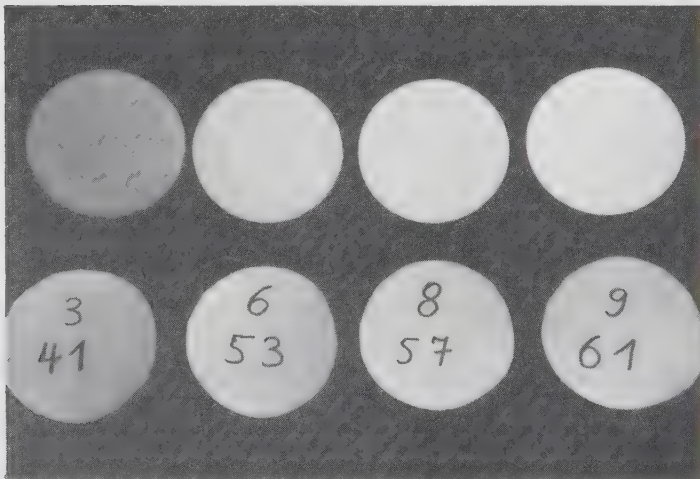
$$WG_S = 0,486 WG_H + 38,047$$

Daraus ergibt sich, daß bei einer Verminderung des Holzweißgrades von 1 % die Schliffweiße um 0,5 % absinkt. Damit kommt dem Weißgrad des Holzes, wie bereits in Abschn. 3.3.4.1.2 erwähnt, eine große Bedeutung für die Qualität des Zellstoffs und Schliffs zu.

MELTZER (1966, 55 ff.), KNELL (1968, 102 ff.) und KELLER (1973, 124 ff.) geben als Weißgrad für frisches Fichtenholz übereinstimmend einen Wert von ca. 60 % an. Ein entsprechend hoher Weißgrad wurde in der vorliegenden Untersuchung nur in Ausnahmefällen erreicht, da es sich hier um abgelagertes Holz handelte. Die in Abb. 27 dargestellten Proben decken den Rahmen der in der Untersuchung beobachteten Werte für den Weißgrad von 40 - 60 % ab. In Tab. 17 sind die durchschnittlichen Weißgrade, wie sie sich für die drei Betriebstypen in den beiden Versuchsreihen ergaben, dargestellt. Daß die dabei auftretenden Unterschiede signifikant sind, wurde bereits in Abschn. 4.1.3 nachgewiesen. Daraus ist ersichtlich, daß bei Restholz aus Sägewerken, die waldentrindetes Holz verarbeiten (Betriebstyp I), die mit Abstand niedrigsten Weißgrade erreicht werden, während zwischen den beiden Betriebstypen mit Waldentrindung (Betriebstyp II u. III) keine solche klare Ab-

stufung festgestellt werden konnte, obwohl die Unterschiede meist signifikant waren. Ferner sind die Weißgrade aller drei Betriebstypen in der ersten Versuchsreihe, dessen Schwerpunkt im Sommer lag, z. T. wesentlich höher als in der zweiten Versuchsreihe, die sich vorwiegend auf den Herbst und Winter erstreckte. Da gleiche Beobachtungen bei dem Rindenanteil festgestellt werden konnten (siehe Abschn. 4.3.3), kann schon hier auf einen Zusammenhang zwischen Rindenanteil und Weißgrad geschlossen werden.

Abb. 27: Weißgradproben aus den Betrieben 3, 6, 8, 9



Tab. 17: Weißgrad des Hackschnitzelmaterials in den einzelnen Betrieben (in %)

Betr. Typ	Betr. Nr.	Prob. art	Versuchsreihe 1			Versuchsreihe 2		
			$\bar{x}$	s^2	V	$\bar{x}$	s^2	V
I	1	N	53,5	11,36	26,31	47,70	5,17	4,77
		Schw	51,2	11,25	6,56	47,10	14,00	7,95
		Sp	51,9	12,46	6,80	48,07	4,16	4,24
	2	N	54,8	3,87	3,69	51,62	13,09	7,01
		Schw	49,9	30,12	10,98	53,10	11,32	6,34
		Sp	50,4	24,76	9,88	52,60	3,85	3,73
	3	N				38,00	32,30	14,96
		Schw				41,3	28,62	12,95
		Sp				45,10	11,20	7,41
Summe I			51,9	19,27		47,30	34,92	
II	4	N	62,6	1,63	2,04	57,30	14,70	6,69
		Schw	63,5	0,49	1,10	62,30	3,44	2,98
		Sp	63,2	0,47	1,09	61,80	6,53	4,13
	5	N	63,7	1,60	1,99	57,30	1,14	1,86
		Schw	62,6	5,68	3,81	57,10	1,53	2,16
		Sp	62,5	0,07	2,98	55,30	2,03	2,58
	6	N	55,0	5,30	4,19	57,60	1,49	2,12
		Schw	55,5	5,66	4,29	56,80	7,33	4,76
		Sp	56,9	2,45	2,75	57,10	1,70	2,28
Summe II			59,9	19,73		58,10	9,36	
III	7	Ps	57,8	5,42	4,03	55,20	2,35	3,32
	8	Ps	57,6	12,63	6,17	55,30	1,73	2,38
	9	Ps	62,7	0,98	1,58	54,53	1,69	2,88
	10	Ps	59,2	10,39	5,44	56,50	1,72	2,33
Summe III			59,7	11,13		55,70	2,56	

4.3.4.1 Einflüsse der Zusammensetzung des Restholzes auf den Weißgrad

Aufgrund der im vorigen Kapitel dargestellten Überlegungen, galt es als erstes zu prüfen, welchen Einfluß der Rindenanteil auf den Weißgrad ausübt. Ein linearer Ausgleich der Beziehungen ergab in der zweiten Versuchsreihe für die drei Betriebstypen I - III folgende Regressionsgleichungen:

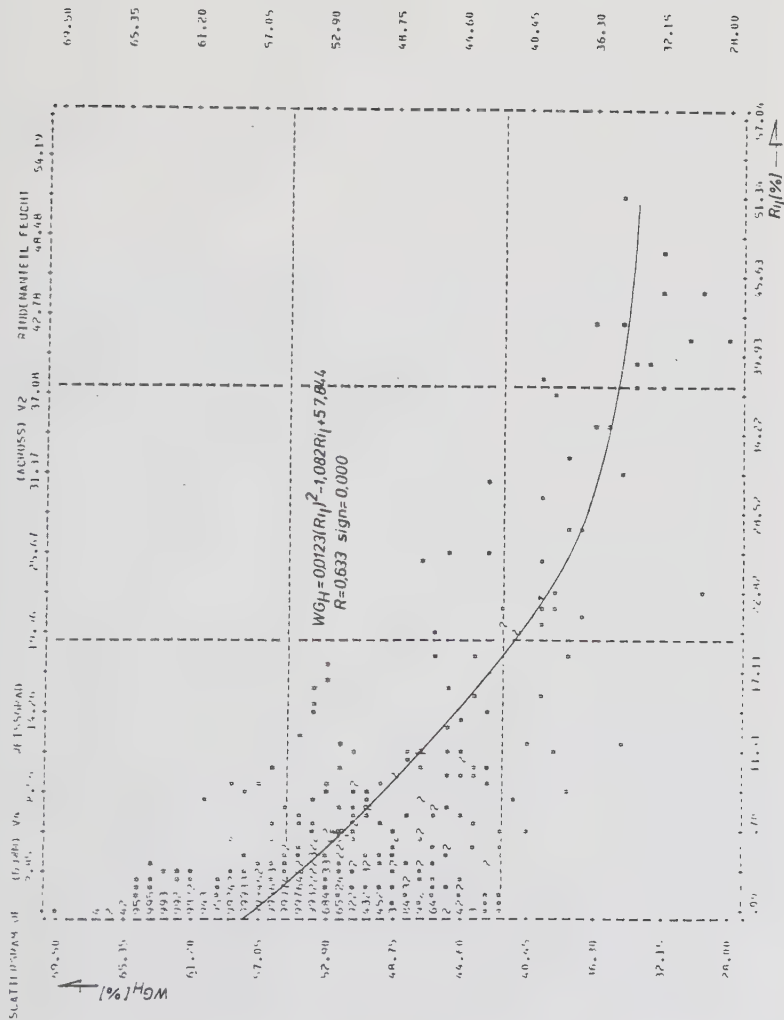
$$\begin{array}{lll} & \text{WG}_H & = - 0,38 \text{ Ri}_1 + 50,11 \\ \text{I} & \text{R} & = - 0,707 \\ & \text{sign.} & = 0,000 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} & \text{WG}_H & = - 0,65 \text{ Ri}_1 + 58,94 \\ \text{II} & \text{R} & = - 0,302 \\ & \text{sign.} & = 0,000 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} & \text{WG}_H & = - 0,51 \text{ Ri}_1 + 55,82 \\ \text{III} & \text{R} & = - 0,324 \\ & \text{sign.} & = 0,000 \end{array}$$

Obwohl die Korrelationen signifikant sind, befriedigte der lineare Ausgleich aufgrund des geringen absoluten Wertes und des flachen Gefälles nicht: Bei kleinem Rindenanteil ergab sich ein zu geringer Weißgrad, und mit zunehmendem Rindenanteil fiel der Weißgrad entgegen den Beobachtungen im Versuch in einem zu geringen Maße ab. Daher wurde versucht durch eine Funktion zweiter Ordnung einen Ausgleich zu erreichen. Das Ergebnis ist in Abb. 28 wiedergegeben.

Abb. 28: Beziehung zwischen dem Rindenanteil (R_1) und dem Weißgrad (W_G) des Hackschnitzmaterials



Daraus geht hervor, daß das Bestimmtheitsmaß gegenüber dem linearen Ausgleich noch wesentlich anstieg und die Kurve sich dadurch besser den in den Versuchen ermittelten Werten anpaßte. Der absolute Wert liegt jedoch mit 58 % noch 2 % unter den zuvor zitierten Ergebnissen für den Weißgrad von frischem Fichtenholz. Danach fällt der Weißgrad bis zu einem Rindenanteil von 3 % leicht überproportional, danach leicht unterproportional ab.

In einem weiteren Schritt galt es prüfen, welchen Einfluß die Jahrringbreite auf den Weißgrad ausübt. Da in den drei Betriebstypen alle drei Jahrringbreitenklassen (s. Abschn. 4.1.1) auftraten, wurde die Beziehung zwischen Jahrringbreite und Weißgrad auf der Basis des gesamten Probeumfangs untersucht. Hierbei ergab sich jedoch aufgrund der Überlagerung durch andere Merkmale, vor allem durch den Rindenanteil, keinerlei Beziehung. Nach der Trennung von wald- und werksentrindetem Holz (Betriebstyp I und Betriebstyp II + III) erzielte man das in Tab. 18 dargestellte Ergebnis.

Tab. 18: Einfluß der Jahrringbreite auf den Weißgrad

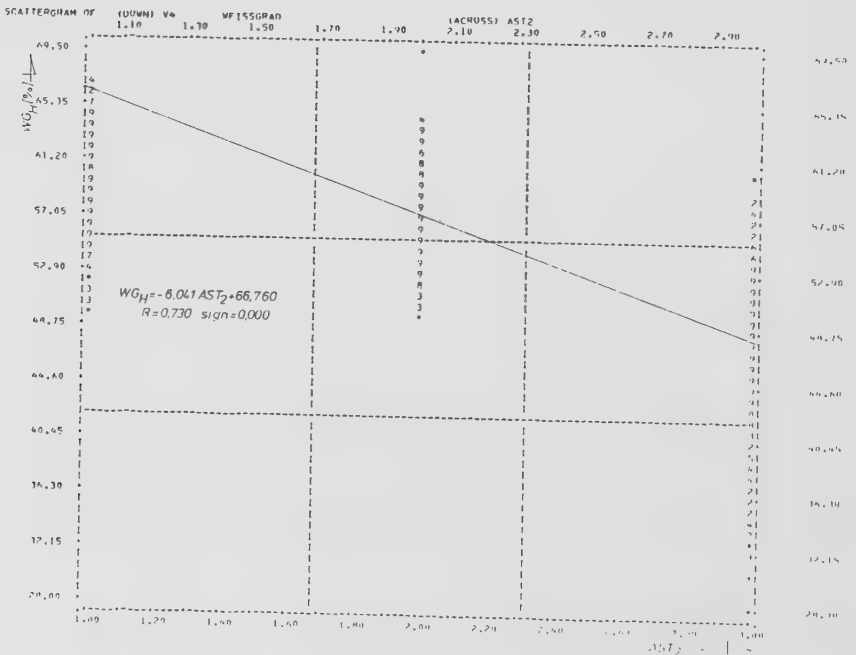
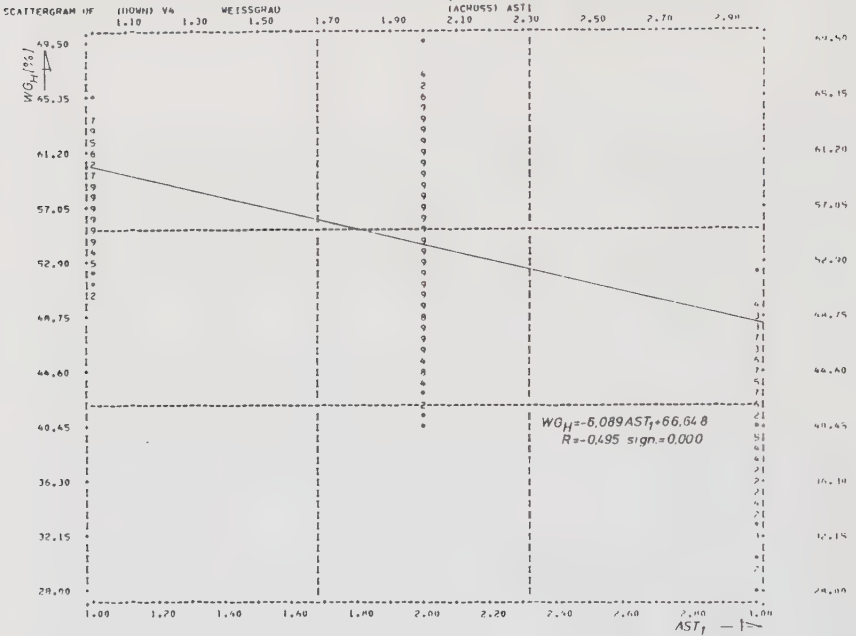
Jahrringbr.	Betriebstyp	
	I	II + III
1	-	55,51
2	47,07	59,08
3	47,64	-

Wenn die absoluten Werte auch nicht aussagekräftig sind, so ist doch die Tendenz festzustellen, daß sich mit zunehmender Jahrringbreite ein höher Weißgrad ergibt. Dies entspricht auch der Erfahrung, daß engringiges Holz aufgrund des höheren Spätholzanteils eine dunklere Farbe aufweist.

Neben der Jahrringbreite stellt die Astigkeit des Holzes ein weiteres anatomisches Merkmal dar, das sich auf den Weißgrad negativ auswirken könnte. Zum einen ist Astholz dichter als das Schaftholz und weist damit eine dunklere Färbung auf; dies gilt vor allem auch für die Totäste. Ferner hatte sich in Abschn. 4.3.3.1 gezeigt, daß die Astigkeit einen negativen Einfluß auf die Entrindungsqualität und damit auf den Rindenanteil im Hackschnitzelmaterial ausübt. In Abb. 29 sind auf der Basis des gesamten Probematerials die Beziehungen zwischen der Astanzahl (AST 1) und dem Astdurchmesser (AST 2) auf den Weißgrad dargestellt.

Die Beziehungen weisen gesichert nach, daß sowohl bezüglich der Astanzahl als auch des Astdurchmessers bei der Erhöhung um eine Kategorie der Weißgrad um jeweils 6 % abfällt. Jedoch bereiteten größere Äste bei der Zerkleinerung des Hackschnitzelmaterials zu der für die Weißgradbestimmung vorgesehenen Fraktion Probleme und mußten oftmals ausgeschieden werden. Daher dürfte der bei der Bestimmung des Weißgrads ermittelte Zusammenhang vorwiegend auf den mit der Astigkeit verbundenen höheren Rindenanteil zurückzuführen sein. Da jedoch die Korrelationen einen starken Einfluß der Astigkeit auf den Weißgrad nachweisen, der nicht allein durch die Beziehung zwischen Astigkeit und Rindenanteil erklärt werden kann, ist eine direkte Auswirkung des dunkleren Astholzes auf den Weißgrad des Hackschnitzelmaterials nicht auszuschließen. Dies dürfte

Abb. 29: Die Bedeutung der Astanzahl (AST 1) und des Astdurchmessers (AST 2) auf den Weißgrad (WG_H)



in verstärktem Maße für Totäste gelten. Da sie jedoch besonders häufig bei der Herstellung der Weißgradproben abgesondert wurden und in der Untersuchung kein Gatterlos vertreten war, das eine extreme Totastigkeit aufwies, konnte auch keine Beziehung zwischen Astzustand (Tot - bzw. Lebendast) und Weißgrad nachgewiesen werden. Da bei der Hackschnitzelschliff- bzw. Zellstoffherstellung in der Praxis das Astholz meist im Splitteranteil des Faserstoffs verbleibt, sind keine direkten Auswirkungen der Astigkeit auf den Weißgrad des Endprodukts zu erwarten.

Daneben war anzunehmen, daß auch die Feuchtigkeit den Weißgrad beeinflußt. Wenn es sich dabei auch nicht um eine direkte Auswirkung handeln dürfte, so konnte doch gefolgert werden, daß mit Absinken des Wassergehalts unter die Frischfeuchtigkeit die das Holz zerstörenden und verfärbenden Pilze günstigere Bedingungen zu ihrem Gedeihen vorfinden und so der Weißgrad indirekt durch die Feuchtigkeit beeinflußt wird. Da jedoch daneben Lagerdauer und Lagerzeitpunkt ebenfalls mit einwirken, muß diese Beziehung nicht zwingend sein. So konnte auch lediglich für den Betriebstyp II in der ersten Versuchsreihe, in der längere Lagerzeiten beobachtet wurden, eine entsprechend gesicherte Korrelation nachgewiesen werden:

$$\begin{aligned} \text{WG}_H &= 0,259 F_u + 48,473 \\ R &= 0,858 \\ \text{sign.} &= 0,000 \end{aligned}$$

Dies besagt, daß bei einem Feuchtigkeitsverlust von 10 % der Weißgrad um 2,5 % absinkt. Es soll jedoch nicht verschwiegen werden, daß sich bei einigen Einzelproben und auch bei gesamten Betriebsgruppen gegenläufige Aussagen ergaben, die jedoch nicht abgesichert waren.

Als abschließendes Merkmal der Holzeigenschaften, die Einflüsse auf den Weißgrad ausüben könnten, verblieb der Komplex der pilzlichen Schädigungen. Hierzu wurden jedoch keine eigenen Untersuchungen durchgeführt. KRUSE und PARAMESWARAN (1979 a) ermittelten aufgrund des zugesandten Probematerials aus den Betrieben 1, 2 und 7 folgende Werte bezüglich der pilzlichen Schädigungen und Verfärbungen (Tab. 19).

Tab. 19: Pilzliche Schädigungen des Hackschnitzelmaterials nach KRUSE und PARAMESWARAN (1979 a)

Betr. Nr.	Versuchsreihe	Probeart	Zustand des Hackschnitzelmaterials in %			
			gesund	blau	rotfaul	braun-violett
1	1	N	87	11	2	
1	2	Schw	66	24	3	7
1	1	Sp	61	22	9	8
2	1	N	76	18	6	
7	1	Ps	84	11	6	

Parallel dazu wurden bei den eigenen Untersuchungen vor dem Einschnitt die Verfärbungen, unterteilt in Rotstreifigkeit, Bläue und sonstige Mantelverfärbungen, aufgenommen. Das Ergebnis ist in Tab. 20 dargestellt.

Tab. 20: Durchschnittliche Verfärbungen des Hackschnitzelmaterials in den Betriebstypen I - III

Versuchsreihe		I	II	III
1	Verf. 1	-	0,3	0
	Verf. 2	-	0,6	0
	Verf. 3	-	1,6	1,3
2	Verf. 1	2,5	0,3	0,3
	Verf. 2	0,3	0	0
	Verf. 3	3,0	1,6	2,5
Gesamt	Verf. 1	2,5	0,3	0,1
	Verf. 2	0,3	0,3	0
	Verf. 3	3,0	1,6	1,9

Beurteilungskategorien

Verf. 1 = Rotstreifigkeit
 Verf. 2 = Bläue
 Verf. 3 = sonstige Verfärbungen

1 = gering
 2 = mittel
 3 = stark

Aus dem Vergleich der Tab. 19 und 20 ergibt sich, daß bei den Erhebungen von KRUSE und PARAMESWARAN die Verblauungen überwogen und nur in geringem Maße Rotstreifigkeit und sonstige Mantelverfärbungen auftraten. Dagegen lagen bei Übereinstimmung in den Einzelergebnisse mit denen von KRUSE und PARAMESWARAN in den eigenen Erhebungen die Schwerpunkte auf der Rotstreifigkeit und vor allem auf den sonstigen Mantelverfärbungen, die der Kategorie "braun-violett" von KRUSE und PARAMESWARAN entsprechen. Die Tatsache, daß KRUSE UND PARAMESWARAN einen sehr hohen Anteil von verblauten Hackschnitzeln fanden,

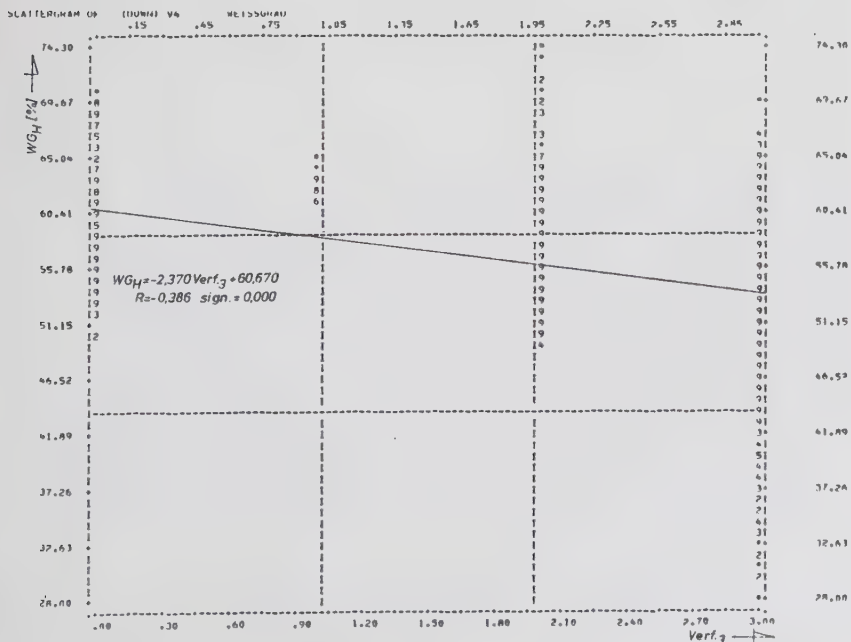
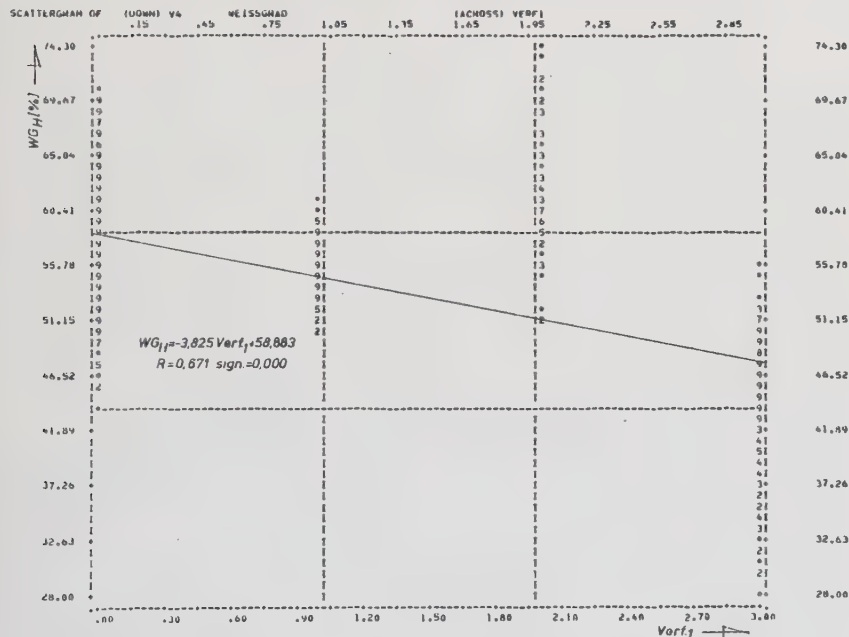
könnte auf Lagerschädigungen während des Transports von Freiburg nach Hamburg beruhen. Eine entsprechende Erklärung legen die Ergebnisse von KRUSE und PARAMESWARAN (1979 b) (s. Abschn. 6) nahe. Wie Tab. 20 zu entnehmen ist, sind die Verfärbungen allgemein bei dem Betriebstyp I, Gattersägewerk mit Waldentrindung, am größten, während zwischen den beiden übrigen Betriebstypen schon aufgrund der recht groben Erhebungsform keine gesicherten Unterschiede festzustellen sind. Auffällig ist jedoch, daß bei dem werksentrindeten Holz die Mantelverfärbungen überwiegen. Dies könnte auf Gerbstoffreaktionen infolge längerer Lagerung zurückgeführt werden (s. auch KELLER, 1973, 155).

In Abb. 30 sind die Zusammenhänge zwischen den beobachteten Verfärbungen und dem Weißgrad dargestellt. Daraus ergibt sich, daß der Weißgrad pro Maßeinheit der Rotstreifigkeit um 4 % und bei den "sonstigen Mantelverfärbungen" um 2 % absinkt. Damit kommt sowohl der Rotstreifigkeit als auch den Verfärbungen aufgrund von Gerbstoffreaktionen große Bedeutung zu. Da diese nach Ergebnissen verschiedener Autoren (s. u. a. PECHMANN, 1966; ADOLF et al., 1972) wesentlich von den Lagerbedingungen und der Lagerdauer abhängig sind, wird bereits an dieser Stelle indirekt die Bedeutung dieser beiden die Bereitstellungsmodalitäten kennzeichnenden Größen nachgewiesen.

4.3.4.2 Einfluß der Bereitstellungsmodalitäten auf den Weißgrad

Bei den Bereitstellungsmodalitäten, welche einen Einfluß auf den Weißgrad ausüben dürften, sind zunächst Ort und Zeitpunkt der Entrindung zu nennen, die in der Untersuchung durch die Unterscheidung von Wald- und Werksentrindung berücksichtigt

Abb. 30: Auswirkungen von Rotstreifigkeit (Verf. 1) und sonstigen Manteilverfärbungen (Verf. 3) auf den Weißgrad (WG_H) des Hackschnitzelmaterials



sind. Da das waldentrindete Holz einen deutlich höheren Rindenanteil aufwies und der Rindenanteil seinerseits den Weißgrad stark negativ beeinflusst, ist bei waldentrindetem Holz ein wesentlich niedrigerer Weißgrad zu erwarten.

Daneben ist der Einschlagszeitpunkt in Kombination mit der Lagerdauer von entscheidender Bedeutung: Im Sommer herrschen für die Bakterien und Pilze günstigere Temperaturen und gleichzeitig sinkt die Feuchtigkeit des Holzes, besonders wenn es sich um entrindetes Holz handelt, schneller in einen Bereich, in dem das Gedeihen der Bakterien und Pilze gefördert wird, während im Winter vor allem die niedrigen Temperaturen das Pilzwachstum behindern. Weiterhin begünstigt die Lagerung des unentrindeten Holzes in einem feuchten Milieu, wie es sich vor allem in den Übergangszeiten, Frühjahr und Herbst häufig auftritt, die Auswaschung von Gerbstoffen, die dann zu den beobachteten Mantelverfärbungen führen. Entsprechende Beziehungen konnten von KELLER (1973, 130 ff.) für Schleifholz nachgewiesen werden. Dabei ergab sich bei einer längeren Lagerung des Holzes in Rinde ein wesentlich höherer Weißgrad als von entrindetem bzw. vorentrindetem Holz. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung konnten die entsprechenden Beziehungen zwischen dem Weißgrad bzw. den Verfärbungen des Rundholzes und der Lagerdauer bzw. dem Einschlagszeitpunkt aufgrund des geringen Probeumfangs nicht nachgewiesen werden. Es dürften jedoch die von KELLER beobachteten Verhältnisse auch für das Sägeholz und damit für den Weißgrad der aus dem Restholz erzeugten Hackschnitzel zutreffen.

4.3.4.3 Bedeutung des Restholzsortiments für den Weißgrad

Nachdem in Abschn. 4.1.3 festgestellt worden war, daß sich zwischen dem Weißgrad der Schwarten und dem der Spreißel ein Unterschied ergab, galt es zu prüfen, ob dieser signifikant ist. Eine entsprechende Prüfung mit Hilfe des T-Tests ergab (s. Tab. 21), daß der Unterschied zwischen den Schwarten und Spreißel nicht signifikant ist.

Tab. 21 Prüfung auf signifikante Unterschiede zwischen dem Weißgrad (WG_H) der Schwarten (Schw) und Spreißel (Sp)

	Betriebstyp I WG_H (%)		Betriebstyp II WG_H (%)	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Schw	50,18	4,68	59,24	3,78
Sp	50,51	3,57	58,94	3,40
Sign. ¹⁾ niveau	0,605		0,455	

1)These: Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen dem Weißgrad der Schwarten und Spreißel

In einem Vorversuch (HEUGEL und GEIGER, 1977) hatte sich gezeigt, daß der Weißgrad der einzelnen Fraktionen des Hack-schnitzelmaterials aufgrund einer ungleichmäßigen Verteilung der Rinde, was sich bei der Bestimmung des Rindenanteils wegen der geringen Partikelgröße in den Fraktionen F4 und F5 nicht nachweisen ließ, stark schwankte. So wiesen vor allem Proben des Feinanteils (F5) einen wesentlich geringeren Weiß-

grad auf. Damit ist für die Praxis das Absieben des Feinanteils aus dem Hackschnitzelmaterial auch unter dem Gesichtspunkt der Wahrung eines günstigen Weißgrads zu empfehlen.

4.3.4.4 Zusammenfassung

Im Rahmen der Untersuchung schwankte der Weißgrad bei den einzelnen Erhebungen zwischen 38 und 62 %. Selbst wenn man den unteren Wert, der im Betrieb 3 beim Einschnitt von teilentrindetem Holz beobachtet wurde, unberücksichtigt läßt, ergibt sich eine untere Schwelle von 47 %. Daraus ist zu ersehen, daß der Weißgrad des Sägerestholzes starken Schwankungen unterworfen ist. Bei einer Unterteilung nach Betriebstypen wies der Weißgrad aus waldentrindetem Holz (Betriebstyp I) insgesamt die schlechtesten Ergebnisse auf. Zwischen den beiden Betriebstypen mit Werksentrindung (Betriebstyp II + III) waren ebenfalls Unterschiede festzustellen, die jedoch wesentlich geringer waren und sich auch nicht schlüssig erklären ließen.

Der Weißgrad des Hackschnitzelmaterials wird am stärksten durch den Rindenanteil beeinflusst, wobei für den Bereich von 0 - 2 % Rindenanteil ein leicht überproportionaler, bei darüber hinaus gehenden Rindenprozenten ein leicht unterproportionaler Abfall des Weißgrads beobachtet wurde. Durch dieses Ergebnis wird der schlechte Weißgrad im Betriebstyp I zum wesentlichen erklärt.

Der Einfluß der Jahrringbreite auf den Weißgrad ließ sich nicht gesichert klären; jedoch ergab sich für wald- bzw. werksentrindetes Holz eine Abnahme des Weißgrads mit breiter werdenden Jahrringen. Neben dem Rindenanteil wurde auch für die Astigkeit ein starker Einfluß auf den Weißgrad ermittelt. Es ließ

sich jedoch nicht eindeutig klären, ob die Astigkeit direkt oder nur indirekt über den gleichzeitig höheren Rindenanteil auf den Weißgrad einwirkt.

Im Rahmen der Untersuchung war nur ein sehr schwacher Zusammenhang zwischen dem Weißgrad und der Feuchtigkeit des Hackschnitzelmaterials festzustellen. Damit kann die Feuchtigkeit nicht als Weiser für die Frische des Hackschnitzelmaterials angesehen werden.

Verfärbungen des Rundholzes, aufgeteilt in Rotstreifigkeit, Bläue und sonstige Mantelverfärbungen, führten besonders bei dem ersten und dritten Merkmal zu erheblichen Weißgradverlusten. Hierauf könnten die Unterschiede zwischen den Betriebstypen II und III evtl. zurückgeführt werden, da im Betriebstyp III die sonstigen Mantelverfärbungen häufiger vertreten waren als im Betriebstyp II.

Da Großteile der zuvor genannten Merkmale abhängig von den Bereitstellungsmodalitäten, Einschlagszeitpunkt, Entrindungszeitpunkt und Lagerdauer sind üben diese hiermit indirekt einen Einfluß auf den Weißgrad aus.

Während bezüglich der Zusammensetzung des Hackschnitzelmaterials für Schwarten und Spreißel kein signifikanter Unterschied des Weißgrads festgestellt werden konnte, erreichte der Feinanteil (F5) aufgrund des höheren Rindenanteils einen wesentlich geringeren Weißgrad.

4.3.5 Fraktionsverteilung und Faserschädigungen

In Abschn. 3.2 ist zu ersehen, wie die Form der Hackschnitzel charakterisiert ist und welche große Bedeutung die Qualität des daraus erzeugten Zellstoffs besitzt. Daher stellte die Bestimmung der Fraktionsverteilung, deren Prinzipien in Abschn. 4.1.5.2 dargestellt sind, einen wesentlichen Bestandteil der Untersuchung dar. Die Einzelergebnisse sind in Anhang 2.1 - 2.8 aufgeführt. Bei einem Vergleich der Fraktionsverteilung -feucht und -trocken zeigte sich, daß die Fraktion F 3, die "Zielfraktion", im feuchten Zustand in der Regel höhere Werte als im trockenen aufwies, während die übrigen Fraktionen niedriger waren. In Abschn. 4.3.1 konnte bereits nachgewiesen werden, daß diese Erscheinung signifikant abgesichert ist. Damit ergab sich bei den starken Schwankungen des Wassergehalts in den Einzelproben ein erster Hinweis darauf, daß bei der Hackung von feuchten Restholzsortimenten ein höherer Anteil der "Zielfraktion" (F3) anfällt. Da jedoch der Unterschied im allgemeinen nicht mehr als 1 % bei der Fraktion F3 betrug und sich die beiden Fraktionsverteilungen bei den weiteren Auswertungen gleich verhielten, wird im weiteren lediglich die Fraktionsverteilung -feucht betrachtet.

In Tab. 22 bzw. Abb. 31 sind die Ergebnisse für die Betriebstypen I - III bzw. die der Einschnitts- und Hackmaschinen zusammengefaßt dargestellt. Dabei ergibt sich auf der Basis der Betriebstypen, daß in den Gattersägewerken die Fraktionsverteilung der Restholzhackschnitzel aus waldentrindetem Holz (Betriebstyp I) gegenüber der aus werksentrindetem Holz (Betriebstyp II) wesentlich ungünstiger war. Ein etwa gleich großer Unterschied war zwischen den Hackschnitzeln aus dem Betriebstyp II und aus Profilspannerwerken (Betriebstyp III)

festzustellen. Damit ließ sich gleichzeitig ableiten, daß die Profilspanner den Hackern bezüglich der Fraktionsverteilung überlegen sind, wie auch Abb. 31 zeigt. Ferner ist aus der Darstellung zu ersehen, daß beim Einsatz von Scheibenhackern mit Ausnahme bei der Fraktion F1 ein wesentlich günstigeres Fraktionsergebnis erzielt wurde.

Tab. 22: Fraktionsverteilung (F1 - F5) in den Betriebstypen I - III

Betr. typ		Versuchsreihe	F1 %	F2 %	F3 %	F4 %	F5 %
I	1	$\bar{x}$	1,78	12,11	76,90	7,16	2,09
		s	1,52	5,25	5,33	3,42	0,84
	2	$\bar{x}$	1,23	18,67	70,69	7,40	2,02
		s	1,26	8,42	8.82	2,47	0,70
Gesamt		$\bar{x}$	1,72	15,92	73,01	7,51	2.05
II	1	$\bar{x}$	1,48	5,51	83,20	7,30	1,80
		s	1,82	3,37	4,63	1,81	1,05
	2	$\bar{x}$	1,74	8,24	81,06	7,01	1,96
		s	2,05	3,12	4,93	1,82	0,94
Gesamt		$\bar{x}$	1,58	7,35	81,97	7,16	1,87
III	1	$\bar{x}$	0,02	1,57	93,73	3,44	1,24
		s	0,07	1,29	2,90	1,11	0,50
	2	$\bar{x}$	0,04	3,38	91,24	4,06	1,28
		s	0,18	2,27	2,28	1,29	0,52
Gesamt		$\bar{x}$	0,03	2,33	92,52	3,83	1,30

Um ein optisches Bild der Fraktionsverteilungen zu vermitteln, sind in Anhang 7.1 - 7.5 die einzelnen Fraktionen des Hackschnitzelmaterials aus den Betrieben 2, 3, 5, 6 und 8 dargestellt, wobei auf die Fraktion F5 verzichtet wurde, da diesbezüglich keinerlei Unterschiede zu erwarten waren. Bei den anderen Fraktionen, vor allem aber bei der Zielfraktion F3 ist ersichtlich, daß die von Trommel- bzw. Scheibenhackern erzeugten Hackschnitzel eine große Breite aufweisen und die Schnittfläche senkrecht zur Faserrichtung orientiert ist. Dagegen sind Profilspanerschnitzel wesentlich schmaler und aufgrund der andersartigen Hackführung ist die Schnittfläche schräg zur Faserrichtung ausgebildet. Außerdem kann bei der Fraktion F3 beobachtet werden, daß die mit Hackern hergestellten Hackschnitzel ebenfalls wesentlich dicker als die Profilspanerschnitzel sind.

Parallel zu den in den eigenen Untersuchungen gewonnenen Werten wird in Tab. 23 für einige Betriebe die durchschnittliche Fraktionsverteilung, wie sie sich aus der Werkseingangskontrolle der HAINDL-Papier GmbH ergab, dargestellt. Bevor ein Vergleich mit den eigenen Ergebnissen durchgeführt werden konnte, muß festgestellt werden, daß die Werte der Praxis ein gegenüber der ursprünglichen Fraktionsverteilung günstigeres Bild vermitteln, da durch die Siebe in den Betrieben ein Teil der Fraktion F 1 und F 5 abgeschieden wird. Dadurch lagen die Ergebnisse für diese beiden Fraktionen bei der eigenen Untersuchung wesentlich über denen der betrieblichen Qualitätskontrolle: So wird bei den Trommel- bzw. Scheibenhackern durch Siebung der Anteil der Fraktion F1 und F5 um ca. 1 % verringert, während bei den Profilspanerwerken eine Sichtung in bezug auf F1 fast überflüssig ist, und der Unterschied bei der Fraktion F5 0,5 % beträgt. Generell zeigen die Ergebnisse der Betriebskontrolle

ebenfalls die Tendenz, daß mit Trommelhackern die ungünstigste und mit Profilspanern die beste Fraktionsverteilung erreicht wird. Bei einem Vergleich der in der vorliegenden Untersuchung beobachteten und den sich aus der Betriebskontrolle ergebenden Fraktionsverteilungen fällt auf, daß die eigenen Ergebnisse besonders in bezug auf die Profilspanerwerke wesentlich über denen der Betriebskontrolle liegen. Der Ausgleich wird durch die Fraktionen F2 und F4 geschaffen. Neben dem meßtechnischen Unterschied bezüglich der Konstruktion des 8 mm-Streifensiebs (s. Abschn. 3.2) könnte die Erklärung der beobachteten Unterschiede darin liegen, daß die Hackschnitzel, besonders wenn sie sehr dünn sind, wie für den Betrieb 10 beobachtet, während des Transport eine Nachzerkleinerung erfahren.

Tab. 23 Fraktionsverteilung im Jahresdurchschnitt gemäß der Werkseingangskontrolle bei der HAINDL Papier GmbH für die im Rahmen der Untersuchung berücksichtigten Betriebe und Maschinentypen

Betr. Nr.	Masch. ¹⁾ Typ		F1 %	F2 %	F3 %	F4 %	F5 %
4	TH	$\bar{x}$	0,2	18,2	73,1	8,3	0,4
		s	0,2	3,5	2,9	1,5	0,1
6	SH	$\bar{x}$	0,2	8,4	80,9	9,6	1,0
		s	0,1	2,7	2,2	1,9	0,2
7,8,9	PSL	$\bar{x}$	0,3	9,6	80,3	8,6	1,1
		s	0,2	2,7	4,6	1,4	0,5
10	PSK	$\bar{x}$	0,0	1,6	88,7	8,4	1,5
		s	0,0	0,7	2,6	2,5	0,4

¹⁾ TH = Trommelhacker
SH = Scheibenhacker

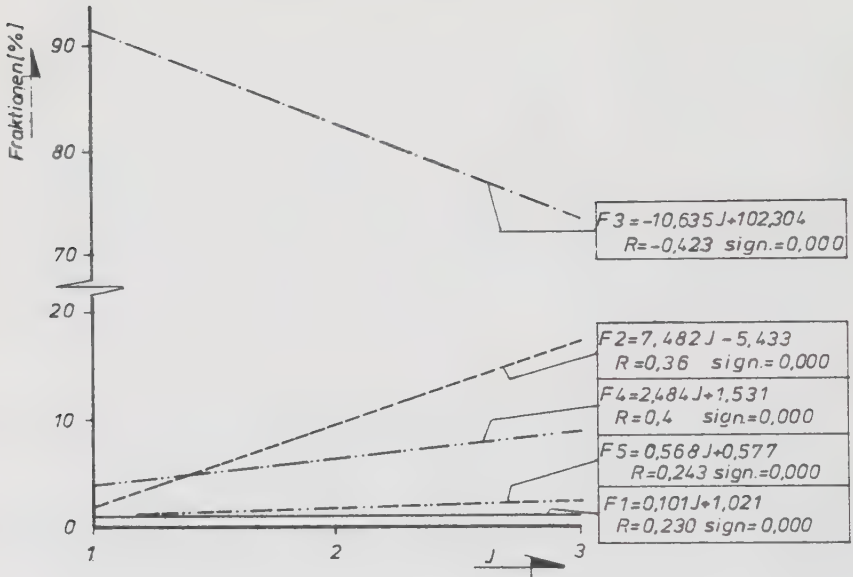
PSL = Profilspaner-LINCK
PSK = Profilspaner-KOCKMUS

Die zuvor gemachten Ausführungen haben gezeigt, daß zwischen den einzelnen Betriebs- bzw. Maschinentypen erhebliche Unterschiede bezüglich der Fraktionsverteilung bestehen. Um diesen Unterschieden nachgehen zu können, wäre es notwendig gewesen, die entsprechenden Auswertungen auf der Basis des gleichen Maschinen- und Betriebstyps durchzuführen. Da auf dieser Grundlage der Probeumfang nur sehr gering gewesen wäre und einige Einflußfaktoren erst bei Berücksichtigung des gesamten Probeumfangs die volle Schwankungsbreite aufwiesen, war es oftmals notwendig, unter Vernachlässigung der unterschiedlichen Einflüsse der Betriebstypen die bei einem Maschinentyp erzielten Ergebnisse zusammenzufassen.

4.3.5.1 Zusammenhänge zwischen Fraktionsverteilung und Holzeigenschaften

Als einzige direkte Holzeigenschaft war die Jahrringbreite (J) unterteilt in die Kategorien 1 = schmal, 2 = normal und 3 = grob (bezüglich der Abgrenzung s. Abschn. 4.1.1.2), aufgenommen worden. Da jedoch die einzelnen Jahrringbreiten-Kategorien recht ungleichmäßig verteilt waren - breite Jahrringe traten nur einmal und schmale nur zweimal auf -, gestaltete sich der Versuch, die Zusammenhänge zwischen der Fraktionsverteilung und der Jahrringbreite herzuleiten, recht schwierig und bedurfte einer vorsichtigen Interpretation. Auf der Basis des gesamten Datenmaterials, wobei alle drei Jahrringbreiten-Kategorien vertreten waren, ergab sich das in Abb. 32 dargestellte Beziehungsgefüge.

Abb. 32: Einfluß der Jahrringbreite (J) auf die Fraktionsverteilung (F1 - F5)



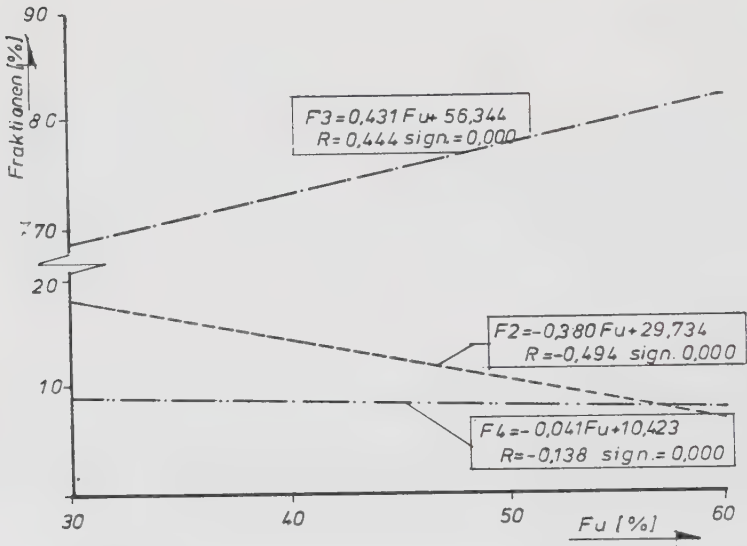
Danach verschlechtert sich mit zunehmender Jahrringbreite die Fraktionsverteilung; die Fraktion F3 nimmt pro Jahrringbreite-Kategorie um 10 % ab, was zum Ansteigen, vor allem der beiden benachbarten Fraktionen F2 und F4, führt. Wegen der ungleichmäßigen Verteilung der Jahrringbreiten-Kategorien über die Betriebstypen wurde geprüft, ob durch sie das obige Ergebnis verursacht worden war. Dazu prüfte man für die einzelnen Einschnitte bzw. Hackmaschinen die entsprechende Beziehung. Während bei den Scheibenhackern keine Korrelation hergeleitet werden konnte, da im Versuch auf ihnen nur Holz mit normaler Jahrringbreite

gehackt wurde, bestätigen die Ergebnisse für die Trommelhacker die auf der Basis des gesamten Materials gefundenen Beziehungen. Für die Profilspanner, mit denen normal- bzw. engringiges Holz verarbeitet wurde, ließ sich dagegen aufgrund der Korrelation herleiten, daß mit zunehmender Jahrringbreite der Pin-chips-Anteil um ca. 1,4 % reduziert wird, während die Fraktionen F3 und F2 um 0,8 bzw. 0,5 % zunehmen. Damit hätte die Veränderung der Jahrringbreite bei diesem Maschinentyp einen sehr geringen Einfluß auf die Fraktionsverteilung. Ob jedoch die beobachteten gegenläufigen Tendenzen auf die unterschiedlichen Wirkungsweisen der Maschinentypen oder die ungleichmäßige Verteilung der Jahrringbreiten-Kategorien zurückzuführen ist, läßt sich letztlich nicht mit Sicherheit feststellen.

Als weiteres galt es zu prüfen, welche Auswirkungen die Veränderungen des Rundholzdurchmessers auf die Fraktionsverteilung haben. Da jedoch der Rundholzdurchmesser bei den einzelnen Einschnitts- bzw. Hackaggregaten nur in einem engen Rahmen variierte, konnte keine Beziehung zwischen dem Rundholzdurchmesser und der Fraktionsverteilung nachgewiesen werden.

Um den Einfluß der Feuchtigkeit auf die Fraktionsverteilung zu prüfen, wurden für die einzelnen Maschinentypen die entsprechenden Korrelationen hergeleitet. Dabei wurde für das mit Trommelhackern hergestellte Hackschnitzelmateriale das in Abb. 33 dargestellte Beziehungsgefüge ermittelt. Danach treten die Veränderungen vor allem in den Fraktionen F2 und F3 auf: Bei einer Feuchtigkeitszunahme von 10 % erhöht sich die Fraktion F3 um 4 %, während sich F2 um den gleichen Wert verringert. Somit ist bei Trommelhackern ein starker Einfluß der Feuchtigkeit auf die Fraktionsverteilung nachgewiesen. Für die Scheiben-

Abb. 33: Abhängigkeit der Fraktionsverteilung (F1 - F5) mit Trommelhackern hergestellten Hackschnitzelmaterial vom Wassergehalt



hacker ist, wie die nachfolgenden Ausgleichsgeraden nachweisen, die gleiche Tendenz festzustellen, wenn auch wesentlich geringer abgesichert:

$$F_2 = -0,031 F_u + 11,709$$

$$R = -0,09603$$

$$\text{sign.} = 0,063$$

$$F_3 = -0,05953 F_u + 77,010$$

$$R = -0,155$$

$$\text{sign.} = 0,032$$

Im Vergleich zu den für die Trommelhacker ermittelten Beziehungen sind die Auswirkungen der Feuchtigkeit auf die Fraktionsverteilung bei den Scheibenhackern um eine Zehnerpotenz geringer.

Für einen Wassergehalt zwischen 45 - 65 % wurden bei den Profilspanerwerken folgende Zusammenhänge ermittelt:

$$F2 = - 0,159 F_u + 6,406$$

$$R = - 0,438$$

$$\text{sign.} = 0,000$$

$$F3 = - 0,163 F_u + 101,586$$

$$R = - 0,382$$

$$\text{sign.} = 0,000$$

Das bedeutet, daß sich bei Feuchtigkeitsveränderungen von 10 % die Fraktionen F2 und F3 gegenläufig um etwa 1,6 % verändern. Damit kann der Einfluß des Wassergehalts auf die Fraktionsverteilung bei den verschiedenen Maschinentypen wie folgt zusammengefaßt werden: Feuchtigkeitsveränderungen des Hackgutes rufen bezüglich der Fraktionsverteilung bei Trommelhackern die stärksten Veränderungen hervor, Profilspaner nehmen eine mittlere Stellung ein, während sich die Fraktionsverteilung bei Scheibenhackern gegen Feuchtigkeitsveränderungen am stabilsten zeigte.

Als weiteres Rundholzmerkmal, das einen wesentlichen Einfluß auf die Hackschnitzelqualität ausüben dürfte, ist die Astigkeit, aufgegliedert in Astzahl, Astdimension und Astzustand anzusehen. Eine erste Überprüfung ergab, daß zwischen den Fraktionen F2 bzw. F3 und der Astanzahl (AST 1) bzw. der Astdimension (AST 2) enge Beziehungen bestehen. Jedoch ließen sich diese nur für das mit Scheibenhackern erzeugte Hackschnitzelmaterial abgesichert

nachweisen. So wurden in bezug auf die Astanzahl und den Astdurchmesser folgende Ausgleichsfunktionen errechnet:

$$F2 = 2,876 \text{ AST } 1 + 4,836$$

$$R = 0,395$$

$$\text{sign.} = 0,000$$

$$F3 = - 3,065 \text{ AST } 1 + 85,445$$

$$R = - 0,323$$

$$\text{sign.} = 0,000$$

$$F2 = 2,029 \text{ AST } 2 + 5,569$$

$$R = 0,483$$

$$\text{sign.} = 0,000$$

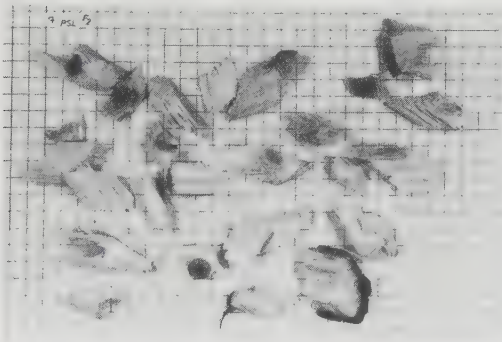
$$F3 = - 1,806 \text{ AST } 2 + 83,953$$

$$R = - 0,330$$

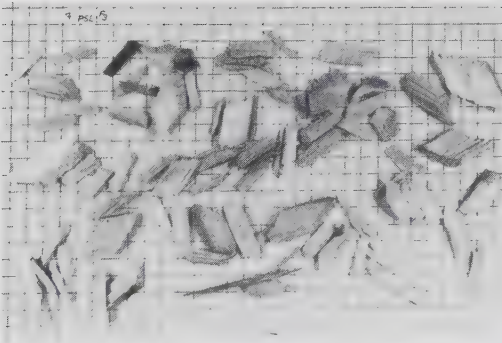
$$\text{sign.} = 0,000$$

Damit läßt sich zumindest für die Hackung mit Scheibenhackern ableiten, daß bei einer Zunahme der Astanzahl bzw. des Astdurchmessers die Zielfraktion F3 um 3 % bzw. 1,8 % abnimmt. Korrespondierend dazu erhöht sich der Anteil der Fraktion F2. Dieses Ergebnis bestätigte sich bei partieller Betrachtung der Fraktionen F2 und F3 (s. Abb. 34): Es war deutlich zu sehen, daß die Fraktion F2 eine große Anzahl von Ästen enthielt. Daneben traten Hackschnitzel auf, die durch einen unregelmäßigen Faserverlauf gekennzeichnet waren, wodurch sie wegen zu großer Dicke das Streifensieb nicht mehr passieren konnten. Da diese Beobachtung bei allen Maschinentypen gemacht wurde, kann das zuvor gesagte, nur auf die Scheibenhacker beschränkte Ergebnis,

Abb. 34: Unterschiede zwischen den Fraktionen F2 und F3,
hervorgerufen durch die Astigkeit



- F2 -



- F3 -

als allgemeingültig angesehen werden. Bezüglich des Zustands der Äste konnte kein Einfluß auf die Fraktionsverteilung nachgewiesen werden. Jedoch kam auch kein Gattersatz zum Einschnitt, der eine solch extreme Totastigkeit aufwies, daß er in die Kategorie 3 hätte eingeordnet werden müssen.

Basierend auf den obigen Erkenntnissen wurde der Zusammenhang zwischen den Fraktionen F2 und F3 zur Kombination von Astanzahl und Astdurchmesser mit Hilfe einer multiplen Regression geprüft. Dies führte zu folgenden Ausgleichsfunktionen

$$\begin{aligned} F2 &= 5,41681 \text{ AST } 1 + 4,068 \text{ AST } 2 - 0,8260 \\ R &= 0,679 \\ \text{sign.} &= 0,000 \end{aligned}$$

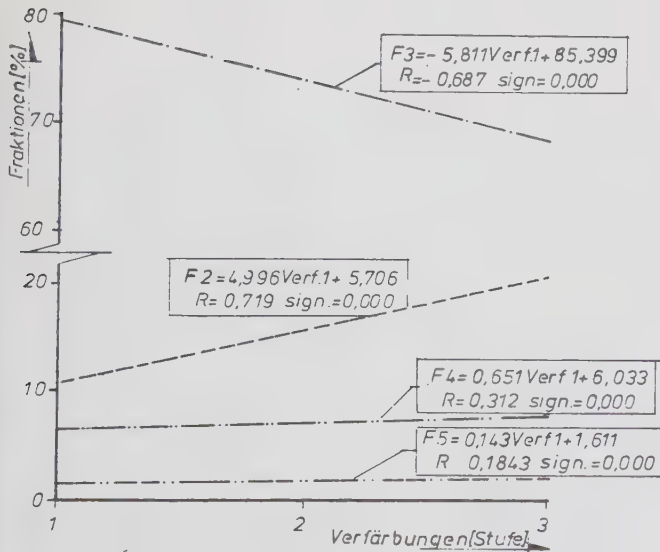
$$\begin{aligned} F3 &= - 5,8589 \text{ AST } 1 - 4,493 \text{ AST } 2 + 100,445 \\ F &= - 0,609 \\ \text{sign.} &= 0,000 \end{aligned}$$

Die Korrelationskoeffizienten und die relativen Werte der Ausgleichsfunktionen zeigen, daß die Astanzahl und der Astdurchmesser durch ihr Zusammenwirken den Einfluß auf die Fraktionsverteilung verstärken. Daraus wäre abzuleiten, daß bei einer starken Astigkeit z. B. im Kronenbereich, wenn beide Größen die Kategorie 3 erhielten, allein aufgrund dieses Einflusses die Fraktion F3 um 20 % absinkt.

Den Einfluß evtl. auftretender pilzlicher Schädigungen des Holzes auf die Fraktionsverteilung galt es als letzte der Rundholzeigenschaften zu prüfen. Da keine direkten Erhebungen bezüglich des Pilzbefalls durchgeführt wurden, griff man auf die bei der Beurteilung des Rundholzes erhobenen Verfärbungen

des Holzes (Verf. 1 - Verf. 3) zurück. Während von den Verblauungen (Verf. 2), wie erwartet, keine Auswirkungen auf die Fraktionsverteilung festgestellt werden konnte, wirkten sich die Rotstreifigkeit (Verf. 1) und die sonstigen Mantelverfärbungen (Verf. 3) negativ auf die Fraktionsverteilung aus. Für die Rotstreifigkeit konnten auf der Basis des gesamten Datenmaterials die in Abb. 35 dargestellten Beziehungen hergeleitet werden.

Abb. 35: Auswirkungen der Rotstreifigkeit (Verf. 1) des Sägeholzes auf die Fraktionsverteilung des Hackschnitzelmaterials



Eine Überprüfung, ob auf der Basis des Probematerials der einzelnen Hacker und Profilspaner sich ähnliche Beziehungen ergeben, führten bei Profilspanern und Scheibenhackern zu keinen abgesicherten Ergebnissen, da hier nur in Ausnahmefällen, und dann in einem sehr geringen Umfang, Rotstreifigkeit festgestellt werden konnte. Durch die Überprüfung der Beziehung zwischen Rotstreifigkeit und Fraktionsverteilung bei Trommelhackern, läßt sich zusätzlich absichern, daß das zuvor dargestellte Beziehungsgefüge nicht vorwiegend durch die günstige Fraktionsverteilung bei Hackschnitzelmaterialien, bei Scheibenhackern und Profilspanern bestimmt wurde. Daraus ergaben sich folgende Ausgleichsfunktionen:

$$F2 = 3,484 \text{ Verf. 1} + 11,772$$

$$R = 0,588$$

$$\text{sign.} = 0,000$$

$$F3 = - 4,077 \text{ Verf. 1} + 78,768$$

$$R = - 6,584$$

$$\text{sign.} = 0,000$$

$$F4 = 0,525 \text{ Verf. 1} + 6,360$$

$$R = 0,303$$

$$\text{sign.} = 0,000$$

$$F5 = 0,133 \text{ Verf. 1} + 1,741$$

$$R = 0,270$$

$$\text{sign.} = 0,000$$

Da in beiden Beziehungsgefügen das Steigungsmaß der jeweiligen Ausgleichsfunktion annähernd gleich ist, kann ausgeschlossen werden, daß die in dem ersten Schritt ermittelten Beziehungen

darauf beruhen, daß das mit Scheibenhackern und Profilspanern erzeugte Material geringere Rotstreifigkeit aufwies, als das mit Trommelhackern erzeugte Material. Damit kann als abgesichert betrachtet werden, daß bei Auftreten von Rotstreifigkeit, gegliedert nach den in Abschn. 4.1.4 beschriebenen Kategorien, der Anteil der Fraktion F3 zwischen 4 - 6 % abnimmt, während sich vor allem die Fraktion F2, aber auch in geringerem Maße F4 entsprechend erhöht. Daraus ist zu schließen, daß es sich bei dem beobachteten Merkmal nicht allein um Verfärbungen, sondern bereits um pilzliche Abbauvorgänge handelte, so daß die Festigkeit der Fasern schon reduziert war.

Gleiches schien für die sonstigen Mantelverfärbungen (Verf. 3), worunter verschiedene Erscheinungsformen ohne klaren Hinweis auf die möglichen Ursachen zusammengefaßt waren, zu gelten; denn es konnte ebenfalls ein Einfluß dieser "Eigenschaft" auf die Fraktionsverteilung ermittelt werden. Auf der Basis des gesamten Probeumfangs ergab sich ein Beziehungsgefüge folgenden Inhalts: Bei einem Anstieg der Mantelverfärbungen um eine Einheit nimmt die Fraktion F3 um 3 % ab- und die Fraktion F2 entsprechend zu. Bei einer Beschränkung auf das mit den jeweiligen Einschnitts- und Hackaggregaten erzeugte Versuchsmaterial konnten jedoch keine gesicherten Beziehungen hergeleitet werden. Dies legt den Schluß nahe, daß die zuvor dargestellten Beobachtungen auf einer Überlagerung durch Merkmale, die die gleiche Verteilung auf die einzelnen Maschinentypen wie die Rundholzverfärbungen aufweisen, zurückzuführen ist.

Damit kann bezüglich der Rundholzeigenschaften zusammenfassend folgendes festgestellt werden:

- Die Astigkeit, als Kombination von Astanzahl und Astdurchmesser beeinflußt die Fraktionsverteilung des Hackschnittsmaterials wesentlich.
- Daneben wirken sich breite Jahrringe, pilzliche Schädigungen, ein geringerer Wassergehalt und zunehmender Rundholzdurchmesser negativ aus.

Alle diese Faktoren bedingen in der Regel, daß die Fraktion F3 abnimmt und die sie umgebenden Fraktionen, vor allem aber die Fraktion F2, zunimmt.

4.3.5.2 Einfluß der Einschnittsmodalitäten auf die Fraktionsverteilung

Zu den Einschnittsmodalitäten sind all die technischen und sonstigen Größen zu rechnen, die bei den Einschnittsversuchen als betriebsbedingte Variablen erhoben worden waren. Dabei handelt es sich im einzelnen um

- das Hackaggregat
- die Messerstandzeit
- durchschnittliche Länge der Sägebloche
- Produktionsprogramm
- witterungsbedingte Einflüsse.

In einem ersten Schritt wurde geprüft, welchen Einfluß die verschiedenen Maschinentypen auf die Fraktionsverteilung des Hackschnittsmaterials ausüben. In Tab. 24 sind die Fraktionsverteilungen, die beim Einsatz von Trommel- bzw. Scheibenhackern in den Betriebstypen I und II erreicht wurden, einander gegenübergestellt. Die Signifikanzniveaus weisen darauf hin, daß die

Unterschiede in beiden Betriebstypen gesichert sind. Die Ergebnisse widersprechen einander jedoch: Während sich beim Betriebstyp I der Scheibenhacker, besonders in bezug auf die Fraktionen F2 und F3, als überlegen ausweist, ist die Fraktionsverteilung der Trommelhacker-Hackschnitzel im Betriebstyp II geringfügig, aber signifikant besser. Eliminiert man die Werte des Betriebs 6 aus der ersten Versuchsreihe, da hier die extrem niedrige Feuchtigkeit des Rundholzes das Fraktionsergebnis wesentlich beeinflusst hat, so ergibt sich auch für den Betriebstyp II, wenn auch nicht so ausgeprägt, die Überlegenheit der Scheibenhacker. Eine Ausnahme bildet die Fraktion F1, die bei den Scheibenhackern stets größer war als bei den Trommelhackern. Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, daß bei Trommelhackern zu grobes Material, durch das im Versuch in alle Trommelhacker eingebaute Sieb nachzerkleinert wird, wodurch sich sein Anteil verringert.

Tab. 24: Unterschiede zwischen den Fraktionsverteilungen (F1 - F5) von Hackschnitzeln erzeugt mit Trommel (TH)- bzw. Scheibenhackern (SH) in den Betriebstypen I und II

			F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)
I	TH	$\bar{x}$	1,10	20,13	68,35	8,23	2,19
		s	1,20	8,68	7,93	2,89	0,73
	SH	$\bar{x}$	1,74	12,44	77,97	6,06	1,79
		s	1,47	4,74	5,57	1,90	0,69
Sign. ¹⁾ niveau			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
II	TH	$\bar{x}$	1,12	6,85	82,52	7,73	1,88
		s	1,51	3,56	5,36	1,52	1,14
	SH	$\bar{x}$	2,64	8,55	81,13	6,14	1,55
		s	2,18	2,61	3,91	1,85	0,70
Sign. ¹⁾ niveau			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

1) These: Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen der Fraktionsverteilung des mit Trommel- bzw. Scheibenhackern angefertigten Hackschnitzelmaterials

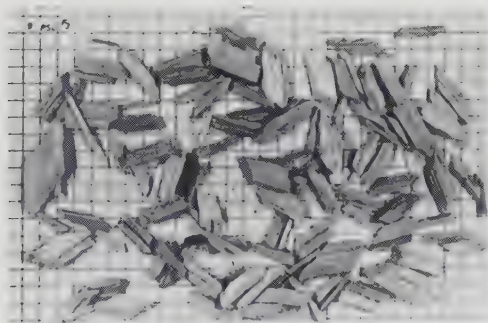
In Tab. 25 werden die Fraktionsverteilungen der Hackschnitzel, erzeugt mit KOCKUMS- bzw. LINCK-Profilspanern, einander gegenübergestellt. Dabei ergibt sich, daß mit KOCKUMS-Profilspanern wesentlich geringere Anteile der Fraktion F1 und F2 erhalten werden, die Fraktion F3 um ca. 3 % höher ist als bei LINCK-Profilspanern, während ein geringfügig höherer Anteil der Pin-chips und des Feinanteils anfällt. Dieses Ergebnis wird auch bei einem Vergleich der Zielfraktion (F3) deutlich (s. Abb. 36): Die mit dem KOCKUMS-Profilspaner erzeugten Hackschnitzel sind im Durchschnitt wesentlich dünner und schmaler als die der LINCK-Profilspaner.

Tab. 25: Unterschiede zwischen den Fraktionsverteilungen der Hackschnitzel erzeugt mit KOCKUMS (PSK)- bzw. LINCK-Profilspanern (PSL)

		F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)
PSL	$\bar{x}$	0,04	3,14	91,93	3,67	1,21
	s	0,15	1,92	2,41	1,28	0,48
PSK	$\bar{x}$	0,01	0,23	94,27	4,06	1,43
	s	0,02	0,20	1,62	1,06	0,56
Sign. niveau		0,173	0,000	0,000	0,061	0,006

Als weitere maschinenbedingte Größe war der Einfluß der Messerstandzeit auf die Fraktionsverteilung zu überprüfen. Das Ergebnis ist in Tab. 26 dargestellt: Die Messerstandzeit schwankte zwischen 0,5 - 15 Tagen, wobei für die Scheibenhacker eine deutlich höhere durchschnittliche Messerstandzeit beobachtet wurde.

Abb. 36: Unterschiede zwischen den Hackschnitzeln erzeugt
mit einem LINCK- bzw. KOCKUMS-Profilspaner



LINCK-Profilspaner



KOCKUMS-Profilspaner

Tab. 26: Entwicklung der Fraktionsverteilung (F1 - F5) bei den versch. Hackertypen in Abhängigkeit von der Messerstandzeit

Fraktion	Masch. ^x Typ	Messerstandzeit (MSZ) in Tagen							
		0,5	1	1,5	2	2,5	5	14	15
F1 (%)	TH	1,0			0,8	0,7			
	SH		1,4				2,8	2,3	2,5
	PSL			0,7	0,4				
	PSK			0,1					
F2 (%)	TH	6,8			9,9	16,9			
	SH		11,7				9,4	13,5	7,7
	PSL	2,9	3,2	4,5	1,6				
	PSK		0,2	0,2					
F3 (%)	TH	82,5			77,2	70,7			
	SH		78,8				79,8	76,7	82,4
	PSL	91,7	91,7	90,5	94,0				
	PSK		93,2	94,9					
F4 (%)	TH	7,7			9,7	9,3			
	SH		6,3				6,4	5,6	5,8
	PSL	4,5	3,6	3,6	3,3				
	PSK		4,8	3,6					
F5 (%)	TH	1,9			2,4	2,3			
	SH		1,7				1,5	1,8	1,6
	PSL	0,9	1,5	1,3	1,1				
	PSK		1,7	1,2					

^xTH == Trommelhacker
SH = Scheibenhacker

PSL = Profilspaner-LINCK
PSK = Profilspaner-KOCKUM

Bei den Betrieben mit Trommelhackern verschlechterte sich der Anteil der Fraktion F3 bei einer maximalen Messerstandzeit von 2,5 Tagen um ca. 12 %; der Ausgleich wurde vorwiegend durch

die Fraktion F2, zu dicke Schnitzel, geschaffen, während der Grob- und Feinanteil annähernd konstant blieb. Trotz extrem langer Messerstandzeit ließ sich bei den Scheibenhackern kein Einfluß auf die Fraktionsverteilung feststellen. Daraus läßt sich schließen, daß bei Scheibenhackern, selbst nach längerer Messerstandzeit, noch annehmbare Hackergebnisse erzielt werden. Dies ergibt sich auch bei einem Vergleich der Fraktionsergebnisse von Trommelhackern bei minimaler und Scheibenhackern bei maximaler Messerstandzeit. Über die mit den längeren Messerstandzeiten möglicherweise verbundenen höheren Faserschädigungen ist damit jedoch keinerlei Aussage getroffen worden. Bei den Profilspanertypen konnte bei einer maximalen Messerstandzeit von 2 Tagen keine signifikante Veränderung der Fraktionsverteilungen festgestellt werden.

Neben den maschinenbedingten Einschnittsmodalitäten waren die Einflüsse des Einschnittsprogramms auf die Fraktionsverteilung des Hackschnitzelmaterials zu untersuchen. Bereits wegen der starken Variationen des Einschnittsprogramms und den damit verbundenen Schwierigkeiten der Aufnahme war es nicht möglich, die Abmessungen des Restholzes in einer aussagefähigen Form zu erfassen. So beschränkte man sich darauf zu prüfen, ob sich durch die unterschiedlichen Abmessungen der Restholzsortimente Schwarten und Spreißel, Auswirkungen auf die Zusammensetzung des Hackschnitzelmaterials ergeben. Aus Tab. 27 ist zu entnehmen, daß, sowohl bei den Trommel- als auch bei den Scheibenhackern, die Kurve der Fraktionsverteilung für die Spreißel geringfügig flacher verläuft als für die Schwarten. Die jeweiligen Unterschiede sind in den einzelnen Fraktionen signifikant. Dabei ergibt sich für beide Maschinentypen bezüglich der Zielfraktion F3 ein Unterschied von ca. 2 %. Diese Beobach-

Tab. 27: Fraktionsverteilung (F1 - F5) der Hackschnitzel aus Schwarten (Schw) und Spreißeln (Sp) bei Trommel (TH)- und Scheibenhackern (SH) sowie Prüfung auf signifikante Unterschiede zwischen den beiden Sortimenten

		TH		SH	
		Schw	Sp	Schw	Sp
F1 (%)	$\bar{x}$	1,19	0,65	2,38	2,22
	s	1,42	0,86	2,09	1,87
	Sign. Niveau	0,000		0,551	
F2 (%)	$\bar{x}$	12,36	13,05	9,41	10,45
	s	9,10	9,61	3,58	4,08
	Sign. Niveau	0,503		0,049	
F3 (%)	$\bar{x}$	77,42	75,51	81,25	79,30
	s	9,49	10,24	4,52	4,84
	Sign. Niveau	0,075		0,003	
F4 (%)	$\bar{x}$	7,15	8,74	5,45	6,24
	s	1,82	2,35	1,65	1,72
	Sign. Niveau	0,000		0,001	
F5 (%)	$\bar{x}$	1,87	2,06	1,49	1,75
	s	1,03	1,05	0,72	0,73
	Sign. Niveau	0,098		0,100	

tung dürfte darauf zurückzuführen sein, daß die Spreißel eine geringere Abmessung besitzen, somit in einem stärkeren Maße durch die Einschnittsmaschinen vorgeschädigt sind und zusätzlich oftmals nicht optimal an das Hackmesser herangeführt werden können. Aus Abb. 37 ist zu entnehmen, daß die aus Spreißeln erzeugten Hackschnitzel der Zielfraktion F3 wesentlich schmaler als die der Schwarten und Spreißel und häufiger unregelmäßig verlaufende Schnittflächen aufweisen.

In einem weiteren Schritt wurde geprüft, ob sich die Messerstandzeit unterschiedlich auf die Fraktionsverteilung der Schwarten und Spreißel auswirkt. Für die mit Trommelhackern erzeugten Hackschnitzel sind die Ergebnisse in Tab. 28 dargestellt. Danach wirkt sich die Messerstandzeit auf die Fraktionsverteilung des aus Spreißeln erzeugten Hackschnitzelmateri als wesentlich stärker aus als bei den Schwarten, wodurch sich die Unterschiede zwischen den beiden Fraktionsverteilungen, die bei geringen Messerstandzeiten minimal sind, wesentlich verstärken.

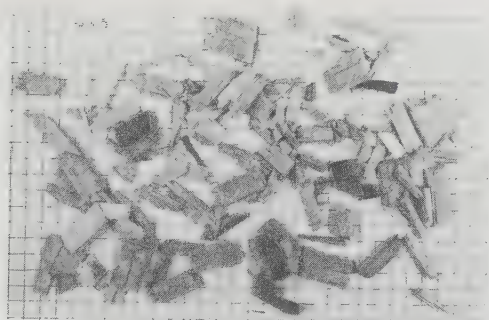
Als besondere Einflußgröße ergab sich in drei Fällen, daß die Einschnittsversuche in den Betrieben 6, 7 und 8 bei extremen Frostlagen durchgeführt wurden. Damit war zu prüfen, ob diese Witterungsverhältnisse einen Einfluß auf die Fraktionsverteilung ausüben, indem man die beiden Parallelversuche in den entsprechenden Betrieben einander gegenüberstellte. Da in Betrieb 6 dieser Parallelversuch ebenfalls durch eine Ausnahmesituation gekennzeichnet war, verblieben die Betriebe 7 und 8. Das Ergebnis ist in Tab. 29 dargestellt.: Durch die Frosteinwirkungen hat die Fraktion F3 um 2 % ab- und die Fraktion F2 um den gleichen Betrag zugenommen. Damit ist im Winter bei extremen Frostlagen mit einer Verschlechterung der Fraktionsverteilung zu

Tab. 28: Fraktionsverteilung des Hackschnitzelmateri-
als aus Schwarten (Schw) und Spreißeln (Sp) in Ab-
hängigkeit von der Messerstandzeit (MSZ) in Tagen
bei Trommelhackern

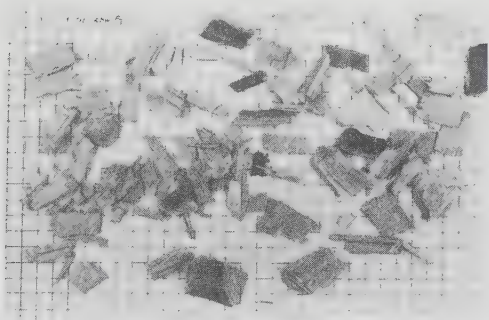
	MSZ in Tagen	Schw %	Sp %
F1	0,5	0,9	0,8
	2,0	1,3	0,5
	2,5	1,0	0,3
F2	0,5	7,3	6,7
	2,0	10,7	10,0
	2,5	16,0	18,1
F3	0,5	82,7	82,5
	2,0	78,5	76,1
	2,5	72,7	67,8
F4	0,5	7,3	8,2
	2,0	7,6	11,0
	2,5	8,3	11,1
F5	0,5	1,8	1,9
	2,0	1,9	2,6
	2,5	2,1	2,7

rechnen, worauf auch die eigenen Versuchsergebnisse, bei einem Vergleich der Fraktionsverteilung zwischen der ersten und zweiten Versuchsreihe, hindeuten.

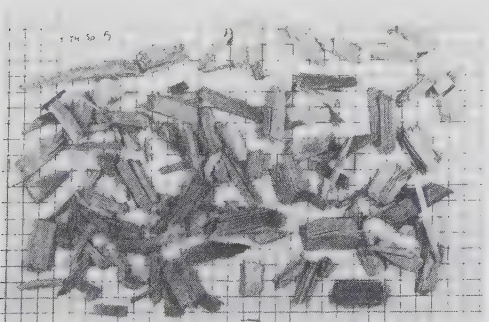
Abb. 37: Gegenüberstellung der Hackschnitzelsortimente
"Normal", Schwarten" und "Spreiße"



Normal



Schwarten



Spreiße

Tab. 29: Auswirkungen des Frosts auf die Fraktionsverteilung bei Profilspanern

		F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	F4 (%)	F5 (%)
ungefroren	$\bar{x}$	0,00	2,16	92,55	3,91	1,39
	s	0,00	1,47	1,93	1,10	0,54
gefroren	$\bar{x}$	0,06	4,51	90,46	3,64	1,32
	s	0,24	2,08	2,11	1,28	0,39
Sign.-Niveau		0,082	0,000	0,000	0,280	0,519

Damit lassen sich abschließend die Auswirkungen der Einschnittsmodalitäten auf die Fraktionsverteilung wie folgt zusammenfassen:

- Bezüglich der Maschinentypen werden die besten Fraktionsverteilungen in den Profilspanerwerken erreicht, wobei sich hier der KOCKUMS- dem LINCK-Profilspaner leicht überlegen zeigte. Bei der Hackung des Restholzes in den Gattersägewerken ergab sich bei den Scheibenhackern gegenüber den Trommelhackern ein deutlich besseres Ergebnis.
- Ein Einfluß der Messerstandzeit auf die Fraktionsverteilung konnte lediglich bei Trommelhackern nachgewiesen werden. Bei Messerstandzeiten von 14 bzw. 15 Tagen wurde mit Scheibenhackern ein durchaus noch befriedigendes Fraktionsergebnis erzielt.
- Bei der Hackung von Schwarten und Spreißeln ergibt sich für das letztere Sortiment, besonders bei längeren Messerstandzeiten, ein deutlich schlechteres Fraktionsergebnis.
- Die Hackung von gefrorenem Holz verursacht eine um ca. 2 % geringere Ausbeute der Fraktion F3.

4.3.5.3 Faserschädigungen

Für die Qualität des Hackschnitzelmaterials ist, wie in Absch. 3.2.2 gezeigt, nicht allein die Größe, sondern daneben auch die Art und der Umfang der Faserschädigungen ausschlaggebend. Bislang existiert jedoch zur Bestimmung des Merkmals im Rahmen der Betriebseingangskontrolle kein praktikables Verfahren. Ein Merkmal für den Zustand der Fasern bilden die Schnittflächen der Hackschnitzel. Bei gleicher Hacklänge sind die Faserschädigungen um so geringer, je glatter die Schnittflächen sind. Jedoch läßt sich mit diesem Verfahren die Faserschädigung nicht quantitativ messen. Außerdem unterscheiden sich die Schnitt- und die Stauchfläche wesentlich. Auf die Ursachen wurde in Abschn. 3.2.3.1 hingewiesen. Das einzige bekannte quantitative Verfahren zur Bestimmung der Faserschädigungen bietet die Mazeration. Entsprechende Untersuchungen wurden von KRUSE und PARAMESWARAN (1979 a) an dem im Rahmen dieser Untersuchung charakterisierten Hackschnitzelmaterial durchgeführt. Das Ergebnis ist in Tab. 30 dargestellt. Bei einem Vergleich der durchschnittlichen Faserlängen der Fraktionen F3 ist festzustellen, daß die Unterschiede zwischen den einzelnen Maschinentypen nur sehr gering ausfallen. Die Ergebnisse der Parallelbestimmungen an den Trommelhacker-Hackschnitzeln weisen darauf hin, daß zumindest dieses Material sehr inhomogen war. In die gleiche Richtung deuten allgemein die hohen Standartabweichungen. Bei einem Vergleich der Trommel- und Scheibenhacker-Hackschnitzeln ist zu berücksichtigen, daß erstere in einem Fall durch eine recht lange Lagerdauer und damit verbundene Rotstreifigkeit gekennzeichnet sind, während für die Scheibenhacker-Hackschnitzel das Restholz zum Zeitpunkt der Hackung eine extrem niedrige Feuchtigkeit aufwies, was zu Faserschädigungen geführt haben könnte. Auffällig ist ferner

Tab. 30: Faserlängen von Hackschnitzeln einzelner Fraktionen in μm

Betr. Nr.	Masch. Typ ¹⁾	F3		F4		F5	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1	TH	2133	1359	2130	1203	1206	811
	TH	2537	1314	1753	1046	1301	751
1	TH	2095	1124	2154	1172	1399	819
	TH	2684	1402	2274	1180	1372	800
6	SH	2080	1228	2426	1152	1500	859
7	PSL	2365	1123	2090	1152	1279	819
9	PSL	2596	1091	2365	1230	1774	1027
10	PSK	1954	1177	1989	1183	1148	610

1)

TH = Trommelhacker

SH = Scheibenhacker

PSL = Profilsplaner LINCK

PSK = Profilsplaner KOCKUMS

starke Unterschied zwischen den Hackschnitzeln der beiden Profilspanertypen. Hier könnte sich die geringe Dicke der mit KOCKUMS-Profilspaner erzeugten Hackschnitzel negativ ausgewirkt haben. Vergleicht man die Ergebnisse für die einzelnen Maschinentypen in den verschiedenen Fraktionen, so fallen die relativ günstigen Faserlängen der Fraktion F4 auf. Dies dürfte darauf beruhen, daß die Pin-chips (F4) gegenüber der Zielfraktion (F3) keine wesentlich geringere Länge aufweisen, sondern sich von dieser lediglich durch die Dicke und Breite unterscheiden. Abschließend kann mit KRUSE und PARAMESWARAN (1979 a) festgestellt werden, daß die vorliegenden Ergebnisse aufgrund des geringen Probeumfangs und der starken Schwankungen der Qualität des Rundholzes kein abschließend Urteil ermöglichen.

4.3.5.4 Zusammenfassung

Bei der Untersuchung der Fraktionsverteilung wurde das Hackschnitzelmaterial aus den einzelnen Betrieben in die in Abschn. 4.1.5.4 dargestellten Einzelfraktionen abgesiebt. Die so erzielte Verteilungskurve der Fraktion war im wesentlichen durch den Anteil der Zielfraktion F3 charakterisiert. Dabei ergaben sich zwischen den mit den verschiedenen Maschinentypen erzeugten Hackschnitzelmaterialien z. T. erhebliche Unterschiede, indem der Anteil der Fraktion F3 zurückging und damit die Verteilungskurve abflachte: Die ungünstigsten Fraktionsergebnisse wurden in den Betrieben mit Trommelhackern erzielt, während die Scheibenhacker in bezug auf die Zielfraktion F3 um durchschnittlich 3 % besser abschnitten. Ferner unterschieden sich die Fraktionsverteilungen in den beiden Betriebstypen I (Einschnitt von waldentrindetem Holz) und II (Einschnitt von werkentrindetem Holz) aufgrund der unterschiedlichen Lagerdauer und Lagerart wesentlich. Die Fraktionsverteilungen der mit Pro-

filspanern erzeugten Hackschnitzel wiesen einen Anteil der Fraktion F3 von meist über 90 % auf, wobei mit dem KOCKUMS-Profilspaner Ergebnisse von 94 % erreicht wurden. Gleichzeitig hatten sich die Anteile der übergroßen (F1) und zu dicken (F2) Hackschnitzel auf 1 - 5 % reduziert. Bei einem optischen Vergleich der Hackschnitzel zeigte sich, daß die mit Hackern erzeugten Hackschnitzel in der Regel wesentlich dicker und breiter als die Spaner-Hackschnitzel waren. Die KOCKUMS-Profilspaner-Hackschnitzel wiesen eine besonders geringe Dicke und Breite auf. Damit zeigte sich insgesamt, daß der Maschinentyp die Fraktionsverteilung des Hackschnitzelmaterials entscheidend beeinflußt.

Bei einer Überprüfung der Auswirkung der Messerstandzeit auf die Fraktionsverteilung ergab sich lediglich für die Trommelhacker eine Verschlechterung. Bei einem Vergleich der Fraktionsverteilung von Schwarten- und Spreißel-Hackschnitzel ergab sich für letztere ein um ca. 2 % geringerer Anteil der Fraktion F3. Diese Unterschiede verstärkten sich noch mit zunehmender Messerstandzeit. In die gleiche Richtung wirkt die Hackung von gefrorenem Holz.

Von den Holzeigenschaften beeinflußt die Astigkeit das Fraktionsergebnis wesentlich. Zunehmende Astanzahl und stärkere Astdurchmesser führen zu einer Verringerung der Zielfraktion (F3) und dementsprechend zu einer Erhöhung der Fraktion F2.

Ein Einfluß des Wassergehalts auf die Fraktionsverteilung konnte lediglich für die Trommelhacker nachgewiesen werden.

Schwankungen der Jahrringbreite übten bei den verschiedenen Maschinentypen unterschiedliche Einflüsse aus. Während sich bei den Hackern durch den Übergang von normal- zu weiltumigen Holz

die Fraktionsverteilung verschlechterte, ergab sich für die Profilspaner bei einem Übergang von einer engen zu einer normalen Jahrringbreite des Rundholzes eine Verbesserung der Fraktionsverteilung.

4. Ergebnisse

Im Rahmen der zuvor dargestellten Versuche wurden die Eigenschaften von Hackschnitzeln, die aus Schwarten und Spreißeln hergestellt bzw. in Profilspanerwerken anfielen, in verschiedenen Sägewerkstypen erhoben und die Ursachen für die z. T. recht erheblichen Unterschiede untersucht. Die Betriebe waren in drei Typen, Gattersägewerk mit Waldentrindung, Gattersägewerk mit Werksentrindung, Profilspanerwerke unterteilt worden. Bezüglich der Maschinentypen wurden Trommel-, Scheibenhacker und Profilspaner der Fabrikate LINCK und KOCKUMS untersucht. Alle Betriebe waren zweimal aufgesucht worden. Bezüglich der Versuchsgrundlagen war festzustellen, daß das waldentrindete Holz im Durchschnitt zwei Monate länger gelagert worden war, als das werksentrindete Sägeholz. Ferner wurde in den Profilspanerwerken wesentlich schwächeres Holz eingeschnitten als in den Gattersägewerken, worauf einige Unterschiede bezüglich der Rundholzeigenschaften beruhen. Während bei Trommelhackern und Profilspanern Messerstandzeiten zwischen 0,5 und 2,5 Tagen, im Mittel 1,5 Tage, beobachtet wurden, ergab sich bei den Scheibenhackern maximale Messerstandzeiten von 15 Tagen, im Mittel 9 Tage.

Bezüglich der Einzelergebnisse sei auf Anhang 2.1 - 2.8 verwiesen. Danach ergaben sich für das waldentrindete Holz die geringsten Feuchtigkeiten, der niedrigste Weißgrad, die stärksten

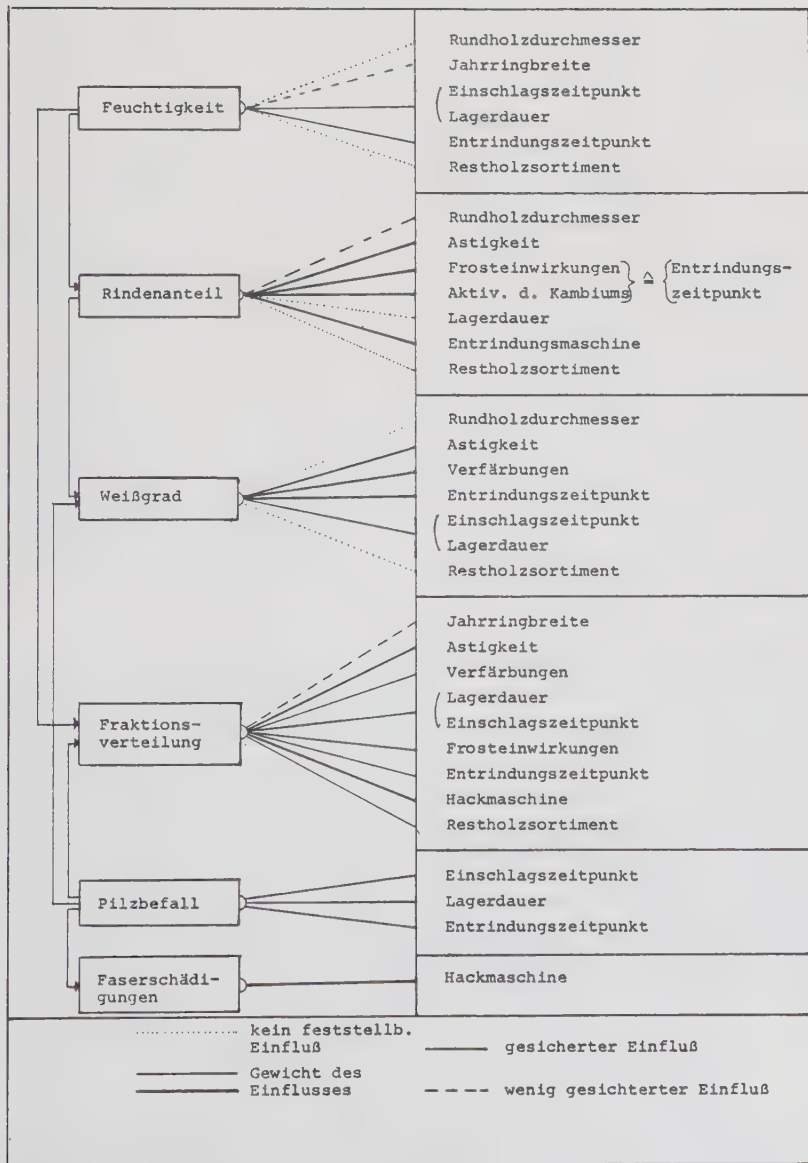
pilzlichen Schädigungen und der höchste Rindenanteil. Tendenziell lagen diesbezüglich bei den beiden Betriebstypen mit Werksentrindung gleiche Ergebnisse vor; Abweichungen sind durch besondere Gelegenheiten während der Entrindung bzw. des Einschnitts oder der Hackung zu erklären.

Bezüglich der Fraktionsverteilung wurden mit den Trommelhackern die schlechtesten Ergebnisse und mit Profilspanern, hier vor allem der Bauart KOCKUMS die besten Ergebnisse erzielt. Mit Scheibenhackern erzeugte Hackschnitzel nahmen eine Mittelstellung ein.

In Abb. 38 sind in Anlehnung an Tab. 2 die Beziehungen der einzelnen Eigenschaften des Hackschnitzelmaterials untereinander und die Auswirkungen der Rundholzeigenschaft sowie der Bereitstellungs- und Einschnittsmodalitäten dargestellt. Danach ist die Feuchtigkeit des Hackschnitzelmaterials vom Entrindungszeitpunkt und der jahreszeitlich bezogenen Lagerdauer abhängig. Eine Verminderung der Feuchtigkeit mit zunehmender Jahrringbreite konnte nicht gesichert nachgewiesen werden. Ferner ergab sich auch kein Zusammenhang zwischen dem Rundholzdurchmesser und den unterschiedlichen Restholzsortimenten Schwarten und Spreißel.

Die Entrindungsqualität und damit der Rindenanteil des Hackschnitzelmaterials wird wesentlich von der Wahl des Entrindungsaggregats (Handentrindung, mobile bzw. stationäre Maschinentrindung) beeinflusst. Während der Vegetationsperiode wurde aufgrund der Aktivität des Kambiums bessere Entrindungsqualitäten beobachtet. Daneben konnte ein, wenn auch nur schwacher Einfluß der Feuchtigkeit des Rundholzes auf den Rindenanteil festgestellt werden. Daß mit zunehmendem Rundholzdurchmesser

Abb. 38: Bedeutung einzelner Rundholzeigenschaften und verschiedener Faktoren der Bereitstellungs- und Einschnittsmodalitäten auf die Eigenschaften des Sägerestholzes



der Rindenanteil des Hackschnitzelmaterials abnimmt, ließ sich nicht mit Sicherheit nachweisen. Keine Zusammenhänge fand man zwischen der Lagerdauer, dem Restholzsortiment in Schwarten und Spreißel sowie dem Rindenanteil des Hackschnitzelmaterials.

Der Holzweißgrad hängt im wesentlichen von dem Rindenanteil und den pilzlichen Schädigungen des Holzes ab. Seine stärkere Astigkeit verringert, wenn vielleicht auch nur über ihre Auswirkungen über den Rindenanteil, ebenfalls den Weißgrad wesentlich. Neben den mit dem Pilzbefall verbundenen Verfärbungen verringert die an der Mantelfläche auftretenden Farbänderungen des Rundholzes den Weißgrad recht stark. Weiterhin konnte noch eine sehr wesentliche Beziehung zwischen dem Entrindungszeitpunkt und dem Weißgrad beobachtet werden. Schließlich ergab sich auch ein Zusammenhang zwischen der jahreszeitlich bezogenen Lagerdauer und dem Weißgrad. Für den Rundholzdurchmesser und die Unterschiede zwischen dem Restholzsortiment der Schwarten und Spreißel konnte keine Auswirkung auf den Weißgrad festgestellt werden.

Die Fraktionsverteilung hängt im wesentlichen von der Wahl des Maschinentyps, mit dem das Hackschnitzelmaterial erzeugt wird, ab. Daneben üben die Rundholzeigenschaften Astigkeit und Pilzbefall einen wesentlichen Einfluß aus. Weitere Zusammenhänge mit der Fraktionsverteilung konnten für die Merkmale Feuchtigkeit des Rundholzes, "Mantelverfärbungen", die jahreszeitlich bezogene Lagerdauer, den Entrindungszeitpunkt und die Art des Restholzsortiments hergeleitet werden. Nicht deutlich geklärt werden konnte, wie sich die Fraktionsverteilung bei einer Veränderung der Jahrringbreite verhält.

Auf der Basis der Ergebnisse von KRUSE und PARAMESWARAN (1979 a) und den eigenen Versuchsergebnissen konnte bezüglich des Pilz-
befalls festgestellt werden, daß dieser vom Einschlagszeit-
punkt, der Lagerdauer und dem Entrindungszeitpunkt beeinflusst
wird. Bezüglich der Faserschädigungen konnten aufgrund der
stark variierenden Hackschnitzelqualität keine detaillierten
Aussagen gemacht werden; als einziges zeigt sich, daß bei den
KOCKUMS-Profilspaner Hackschnitzel aufgrund der geringen Dicke
die Faserlänge abnimmt.

5. EINFLÜSSE DER HACKSCHNITZELEIGENSCHAFTEN AUF DIE QUALITÄT DES THERMOMECHANISCHEN SCHLIFFS (TMP) UND DES ZELLSTOFFS

Da die zuvor an den verschiedenen Hackschnitzeln ermittelten Eigenschaften erst wie in Abschn. 2.1 dargestellt, durch ihre Auswirkungen auf die Eigenschaften der daraus erzeugten Produkte bewertet werden können, war es notwendig, die Beziehungen zwischen diesen Größen ebenfalls in der Untersuchung zu berücksichtigen. Zwar lagen hierzu eine Anzahl von Untersuchungen vor, die in Abschnitt 3 dargestellt sind, die jedoch stets von anderen Grundlagen bezüglich der Holzbereitstellung und Hackschnitzelerzeugung ausgingen oder diese waren z. T. unbekannt oder nicht genannt. So erschien es angebracht, in Parallelversuchen aus dem charakterisierten Hackschnitzelmaterial Zellstoff und thermomechanischen Schliff, von dem bekannt ist, daß er die höchsten Anforderungen an die Hackschnitzelqualität stellt, herzustellen. Die entsprechenden Untersuchungen wurden an der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft im Institut für Holzchemie und chemische Holztechnologie von WELTE (1979) und BURKHARD (1979) durchgeführt.

5.1 Qualitätsmerkmale des thermomechanischen Schlichs (TMP) in Abhängigkeit von den Hackschnitzeleigenschaften

Im folgenden werden auf der Basis der Untersuchungen von WELTE (1979) Feuchtigkeit, Rindenanteil, Weißgrad und Fraktionsverteilung als Hackschnitzeleigenschaften der Zusammensetzung des thermomechanischen Schlichs, seiner Festigkeit und seinem Weißgrad gegenübergestellt.

5.1.1 Zusammensetzung des TMP

In Tab. 31 sind die Zusammensetzung und die mechanischen Eigenschaften der TMP-Proben, wie sie sich im Laborversuch bei Verwendung des zuvor charakterisierten Hackschnitzelmateriels ergaben, dargestellt. Den Ergebnissen liegt ein einheitlicher Mahlgrad von $70 - 75^{\circ}$ SR zugrunde. Der Splitteranteil schwankt, wenn man von den sehr hohen Werten bei der Fraktion F5 absieht, zwischen 2,3 und 8,9 %. Von der Fraktion F3 zur Fraktion F5 ist eine wesentliche Zunahme des Splitteranteils zu beobachten, während die unfractionierte Probe entgegen der Erwartung meist die günstigsten Werte aufweist. Zwischen den verschiedenen Maschinentypen und der Höhe des Splitteranteils bei der Fraktion F3 konnte kein Zusammenhang festgestellt werden.

Der Faserlangstoffanteil schwankt unter Ausschluß der Ergebnisse für die Hackschnitzel der Fraktion F5 zwischen 44,3 - 55,0 %. Dabei zeigen Hackschnitzel, die mit Profilspanern erzeugt worden sind, tendenziell günstigere Ergebnisse als die mit Hackern erzeugten Hackschnitzel. Während zwischen den beiden Hackertypen - im Betrieb 1 wurde ein Trommelhacker, in Betrieb 2 ein Scheibenhacker verwandt - keine eindeutigen Unterschiede festgestellt werden konnten, erhielt man bei den Profilspanern für die Hackschnitzel des Betriebs 10 (KOCKUMS-Profilspaner) die eindeutig besten Werte. Bei einem Vergleich der Probearten Schwarten und Spreißel zeigte sich, daß letztere einen höheren Faserlangstoffanteil aufweisen.

Tab. 31: Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften des TMP nach WEITE (1979)

Betr. Nr.	Prob. art	Prob. Bez.	Splitter %	R 30 %	R 50 %	R 200 %	D 200 %	Reiß- länge m	Berst. fest. m	Durch. reinh. (M)
1	N	unfr.	5,6	45,1	11,5	17,2	26,2	3590	21,7	97,2
		F3	6,6	44,9	10,7	15,6	28,8	3490	20,9	92,9
		F4	11,5	40,4	12,1	17,8	29,7	3200	16,7	76,7
		unfr.	4,2	41,7	12,4	17,9	28,0	3490	19,9	94,2
		F3	4,5	46,3	12,9	17,4	23,4	3570	20,5	95,2
	Schw	F4	7,2	38,8	13,2	17,6	30,4	3050	16,2	76,1
		unfr.	6,1	47,5	11,2	16,7	24,6	3660	20,3	94,2
		F3	5,6	48,0	11,3	16,7	23,8	3990	23,8	94,1
		F4	10,2	40,8	12,6	18,4	28,8	3320	17,6	75,6
		unfr.	4,1	51,0	10,1	14,2	24,7	4300	23,2	94,9
2	N	F4	10,1	49,6	11,5	14,6	24,3	3260	17,3	79,1
		F5	11,4	31,9	14,9	20,5	32,7	2850	12,8	47,0
		unfr.	2,3	45,5	12,1	14,2	28,2	4070	23,5	94,1
		F4	5,8	44,3	12,3	14,4	28,6	3440	82,4	80,0
		F5	12,6	30,6	16,4	17,9	33,1	1570	6,6	36,4
	Schw	F3	3,3	47,0	10,4	15,8	26,8	4100	22,6	96,2
		F4	5,2	46,2	12,8	16,4	24,6	3320	17,7	77,0
		F5	9,4	30,4	15,7	20,1	33,8	1840	8,0	46,8
		unfr.	3,9	51,0	12,7	15,5	20,8	4890	27,8	99,9
		F3	3,6	50,5	12,0	15,3	22,3	4870	28,1	101,5
7	Ps	F4	5,1	46,0	12,0	16,5	24,5	4130	22,6	98,5
		F5	21,2	44,1	25,7	24,8	5,4	3130	13,8	47,7
		unfr.	3,4	48,4	11,5	16,8	23,3	4510	26,3	106,3
		F3	6,5	46,8	10,9	14,5	27,8	4500	25,7	105,8
		F4	5,6	44,2	12,6	18,0	25,2	4100	23,5	96,3
9	Ps	unfr.	5,7	52,6	12,1	13,6	21,7	4150	26,2	99,6
		F3	6,4	55,0	12,4	13,7	18,9	4230	26,9	105,0
		F4	8,9	50,4	12,8	15,6	21,2	3240	18,7	74,6
		F5	24,9	30,8	16,1	22,3	30,8	2230	9,7	40,9
		unfr.	5,7	52,6	12,1	13,6	21,7	4150	26,2	99,6
10	PS	F3	6,4	55,0	12,4	13,7	18,9	4230	26,9	105,0
		F4	8,9	50,4	12,8	15,6	21,2	3240	18,7	74,6
		F5	24,9	30,8	16,1	22,3	30,8	2230	9,7	40,9
		unfr.	5,7	52,6	12,1	13,6	21,7	4150	26,2	99,6
		F3	6,4	55,0	12,4	13,7	18,9	4230	26,9	105,0

5.1.2 Festigkeitseigenschaften des TMP

In Tab. 31 sind ferner die Reißlänge sowie die Berst- und Durchreißfestigkeit für den TMP wiedergegeben. Da die einzelnen Festigkeiten im allgemeinen recht eng miteinander korreliert sind, beschränken sich die Betrachtungen weitgehend auf die Reißlänge. Diese schwankt zwischen 3200 und 4800 m. Bei einem Vergleich der Festigkeitswerte zeigt sich, daß aus Hackschnitzelmaterial, erzeugt mit Trommelhackern, die geringsten Reißlängen und Berstfestigkeiten erzielt werden. Die Werte für Hackschnitzelmaterial, erzeugt mit Scheibenhackern, liegen deutlich darüber. Die besten Reißlängen und Berstfestigkeiten wurden mit Hackschnitzelmaterialien, erzeugt mit Profilspanern erzielt. Dabei übertrafen die Festigkeiten des TMP aus Hackschnitzelmaterial, das mit LINCK-Profilspanern erzeugt wurde, die der KOCKUMS-Profilspaner deutlich.

Die Gegenüberstellung der Werte der Probearten Schwarten und Spreißel ergab für letztere parallel zum Faserlangstoffanteil ebenfalls bessere Festigkeitswerte. Andererseits war zu beobachten, daß die mechanischen Festigkeiten von der Fraktion F3 zur Fraktion F5 sehr deutlich abfielen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß bei der Herstellung von TMP auf der Basis von Hackschnitzelmaterial, das mit Hackern erzeugt worden ist, gegenüber der Verarbeitung von Profilspanerschnitzeln ein geringerer Faserlangstoffanteil und schlechtere Festigkeitswerte erreicht werden. Dabei sind Scheibenhacker-Hackschnitzel denen von Trommelhackern überlegen. Bei den Profilspanern wurde mit der Bauart KOCKUMS gegenüber LINCK zwar ein höherer Faserlangstoffanteil erreicht, die Reißlänge war jedoch deutlich geringer. Beide Erscheinungen dürften mit der sehr geringen Hackschnitzeldicke in Verbindung stehen.

5.1.3 Weißgrad des TMP

Neben der Zusammensetzung des Faserstoffs und der daraus resultierenden mechanischen Eigenschaften ist der Weißgrad, wie in Abschn. 2.3.1 erläutert, ein wesentliches Qualitätsmerkmal des Holzschliffs und des Zellstoffs. Daher galt es im folgenden zu prüfen, welche Zusammenhänge zwischen den Eigenschaften der Hackschnitzel und dem Weißgrad bestehen. In Tab. 32 sind der Wassergehalt, der Rindenanteil und der Weißgrad des Hackschnitzelmaterials dem Weißgrad des TMP, aufgeteilt nach den einzelnen Fraktionen, gegenübergestellt. Vergleicht man die für die verschiedenen Fraktionen erzielten Weißgrade des Schliffs so ergibt sich, daß diese von der Fraktion F3 zu F5 wesentlich abfallen. Dies dürfte auf den in Abschn. 4.3.4.1 beobachteten höheren Rindengehalt im Feinanteil zurückzuführen sein. Bei einem Vergleich des Holzweißgrads mit dem Weißgrad des Schliffs für die Fraktion F3 ergibt sich eine Differenz zwischen 3 - 12 %, wobei der Unterschied bei hohen Holzweißgraden in der Tendenz am geringsten ist. Aufgrund des geringen Datenmaterials war es jedoch nicht möglich, eine rechenbare Beziehung zwischen dem Weißgrad des Holzes und dem des TMP's herzuleiten. Gleiches gilt für den Rindenanteil und die Feuchtigkeit des Hackschnitzelmaterials. Daher griff man auf die Betriebsstatistik der HAINDL-Papier GmbH zurück. Auf der Basis der Betriebseingangskontrolle, bei der der Rindenanteil und die Feuchtigkeit des Hackschnitzelmaterials aufgenommen wurden, und den Aufschrieben der betrieblichen Produktion bezüglich des Weißgrads des erzeugten Schliffs ergaben sich die in Abb. 39 dargestellten Beziehungen. Danach nimmt der Weißgrad des TMP's bei einem Anstieg der Feuchtigkeit um 10 % annähernd 3 % zu. Gleichzeitig wäre bei einem Anstieg des Rindengehalts von 1 % mit einer Verminderung des Weißgrads um 2,8 % zu rechnen.

Tab. 32: Beziehung zwischen Wassergehalt (F_u), Rindenanteil (Ri_1) und Weißgrad (WG_H) der Hackschnitzel und dem Weißgrad des daraus erzeugten TMP (WG_{TMP})

Betr. Nr.	Prob. art	F_u %	Ri_1 %	WG_H %	unfrak- tioniert %	WG_{TMP}^x		
						F3 %	F4 %	F5 %
1	N	61,3	4,4	53,5	45,5	46	40,5	
	Schw	48,5	3,5	51,2	45,0	47	42,5	
	Sp	47,5	3,2	51,9	47,5	47	45,0	
2	N	45,2	6,1	54,8		45	47,0	45,5
	Schw	43,7	7,6	50,0		47	38,0	24,2
	Sp	36,5	7,4	50,4		41	34,0	29,0
7	Ps	52,6	0,2	57,8	52,5	53	46,0	42,5
9	Ps	51,0	0,4	62,7	58,0	57	54,0	
10	Ps	51,6	0,2	59,2	56,0	56	48,0	44,0

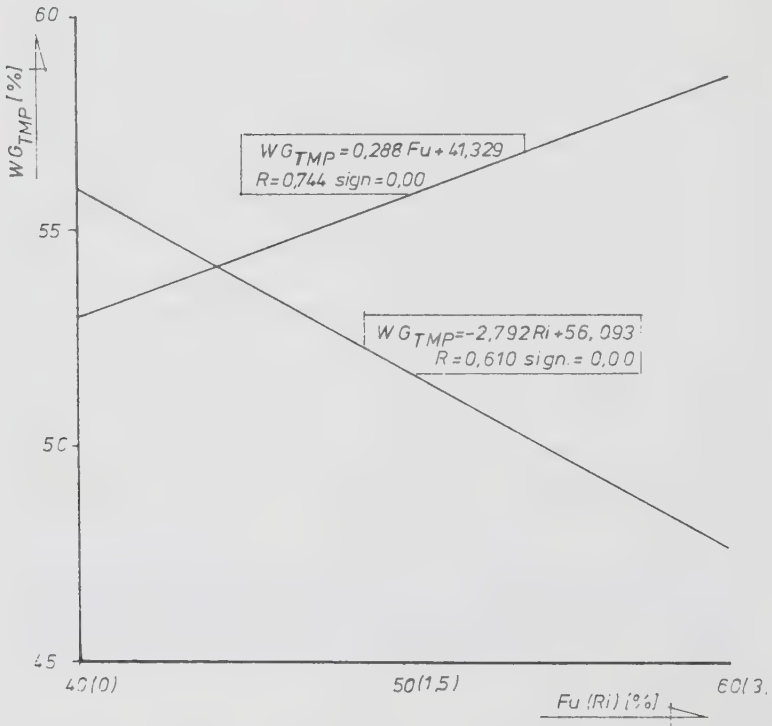
^xnach WELTE (1979)

Damit lassen sich die Ergebnisse bezüglich des TMP-Weißgrads wie folgt zusammenfassen:

- Der TMP-Weißgrad steht in einer engen Korrelation zum Weißgrad des Holzes, wobei Art und Stärke der Korrelation von der Fraktionsverteilung mit bestimmt werden.

- Hackschnitzelmaterial mit hohem Feinanteil, dessen überproportionaler Rinden- und Schmutzanteil bei der betrieblichen Kontrolle nur schwer zu erfassen ist, beeinflusst den TMP-Weißgrad stärker negativ, als dies der ermittelte Rindenanteil angibt.
- Zunehmende Feuchtigkeit und eine Verringerung des Rindenanteils führen zu einer starken Verbesserung des TMP-Weißgrads.

Abb. 39: Auswirkungen der Feuchtigkeit (F_u) und des Rindenanteils (R_i) der Hackschnitzel auf den Weißgrad des des TMP (WG_{TMP})



5.2 Einfluß der Hackschnitzzeleigenschaften auf die Zellstoffqualität

Mit dem Hackschnitzelmaterial aus den Betrieben 1 (Trommelhacker), 6 (Scheibenhacker), 8 (Profilspaner-LINCK) und 10 (Profilspaner-KOCKUMS) wurde nach dem saueren Magnesium-Bisulfit-Verfahren Zellstoff hergestellt (BURKHART, 1979). Die Ergebnisse sind in Tab. 33 dargestellt: Bezüglich der Aufschlußbedingungen berichtet BURKHART, daß die Kochdauer mit zunehmender Hackschnitzelgröße zunahm, was sowohl für Hackschnitzel eines Maschinentyps als auch verschiedener Maschinentypen galt. Damit ergab sich bei den Profilspanerschnitzeln die kürzeste und für Trommelhacker-Hackschnitzel die längste Kochdauer. Die differierenden Aufschlußzeiten für unterschiedliche Fraktionen sowie unterschiedliche Maschinentypen führt BURKHART auf die größere Inhomogenität des Hackschnitzelmaterials innerhalb der einzelnen Fraktionen zurück.

Ferner ist bezüglich des Splitteranteils der relativ hohe Wert für die Scheibenhacker-Proben auffällig. Dies dürfte auf den hohen Anteil groben Hackschnitzelmaterials (F1) zurückzuführen sein.

Die Gutstoffausbeute als Differenz zwischen der Gesamtausbeute und dem Splitteranteil steigt in der Regel mit zunehmender Hackschnitzelgröße, wobei der höchste Wert vom fraktionierten Material erreicht wird. Bei einem Vergleich zwischen den einzelnen Betrieben ergibt sich für die Profilspaner-Werke die höchste Gutstoffausbeute.

Der Faserlangstoffanteil steigt in der Regel mit zunehmender Hackschnitzelgröße. Im Vergleich zwischen den verschiedenen Maschinentypen ist er bei den Trommelhacker-Hackschnitzeln auf-

Tab. 33: Technologische Eigenschaften des Zellstoffs nach BURKHART (1979)

Betr. Nr.	Prob. art	Probe- bez.	Gesamt- ausbeute %	Splitter %	Faserlang- stoffant. %	Mahl-x dauer (min)	Reißl. (m)	Durch- reißf. (N)	Berst- fläche (m ²)
1	Schw	unfr.	47,30	1,60	61,47	14	6980	0,549	41,9
		F2	45,10	3,70	68,52	11	6320	0,464	32,1
		F3	46,70	1,10	60,95	13	7020	0,513	40,0
		F4	47,20	0,28	53,87	13	7590	0,613	45,9
		F5	32,08	0,23	37,49	5	4580	0,295	18,2
	Sp	unfr.	46,82	0,70	72,86	16	8560	0,621	53,5
		F2	45,40	3,70	76,54	18	8590	0,583	54,2
		F3	46,10	0,30	73,10	16	8050	0,618	50,8
		F4	44,20	0,20	72,05	17	8500	0,613	51,4
		F5	42,17	0,58	34,05	3	5420	0,351	21,8
6	Schw	unfr.	53,60	3,80	80,63	30	10290	0,913	77,6
	Sp	unfr.	52,00	2,40	79,52	20	9240	0,930	69,0
		F5	42,79	0,10	41,03	5	5430	0,499	30,1
8	Ps	unfr.	52,99	0,73	81,14	29	10030	0,916	69,8
		F2	51,53	6,79	69,43	27	8930	0,861	62,0
		F3	51,12	0,34	82,63	33	10500	0,868	69,9
		F4	50,16	0,34	61,85	30	7660	0,691	48,1
		F5	44,79	0,14	27,79	7	5900	0,413	26,0
10		unfr.	54,69	0,21	75,09	26	9510	0,971	63,7
		F3	55,32	0,14	83,01	28	9740	0,930	66,2

x bei einheitlichem Mahlgrad von 50° SR

fallend schlecht. Dies dürfte auf die im Rahmen der eigenen Untersuchung festgestellten Rotstreifigkeit des Holzes zurückzuführen sein. Ferner ist für den gleichen Betrieb zu beobachten, daß der Faserlangstoffanteil der Spreißel den der Schwarten deutlich übersteigt. Bei einem Vergleich der mit Hackern bzw. Profilspanern hergestellten Hackschnitzel erweisen sich letztere in dieser Beziehung ebenfalls als überlegen.

Bezüglich der Festigkeitseigenschaften Reißlänge, Durchreißfestigkeit und Berstfläche wurden bei den Zellstoffen aus Trommelhacker-Hackschnitzel die schlechtesten Werte erhalten, wobei wiederum die Ergebnisse für die Spreißel die der Schwarten wohl aufgrund des höheren Faserlangstoffanteils übertrafen. Sehr günstige Ergebnisse wurden mit Scheibenhacker-Hackschnitzeln erreicht. Ferner ist ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Profilspanertypen festzustellen. Hier dürfte sich die geringere Dicke der Hackschnitzel, die mit dem KOCKUMS-Profilspaner erzeugt wurden, negativ auswirken.

Bezüglich des Weißgrads stellte BURKHART (1979, 45 f.) für alle Maschinentypen fest, daß mit abnehmender Hackschnitzelgröße der Weißgrad ebenfalls absank. Diese bereits bei der TMP-Herstellung gemachte Beobachtung, dürfte ebenfalls auf den höheren Rindenanteil im Feingut zurückzuführen sein. Darauf deuten auch die stärkere Verfärbung der Ablaugen und Waschwässer bei den entsprechenden Fraktionen hin. Der von BURKHART ermittelte geringe Weißgrad für die Proben des Betriebs beruht auf dem hohen Rindenanteil und der starken Rotstreifigkeit (s. Abschn. 4.3.1 und 4.3.3).

5.3 Zusammenfassung

Im vorangegangenen Abschnitt sind die Ergebnisse der Herstellung von TMP und Zellstoff aus Restholzhackschnitzeln, die mit Trommel- bzw. Scheibenhackern oder Profilspanern im Rahmen der eigenen Untersuchungen erzeugt worden sind, dargestellt. Dabei ergeben sich weitgehend übereinstimmende Resultate: Die Ausbeuten und mechanischen Eigenschaften von Zellstoffen und TMP die aus Trommelhacker-Hackschnitzeln erzeugt wurden, wiesen deutlich die niedrigsten Werte auf. Eine Ursache dürfte darin gesehen werden, daß das Rundholz z. T. schon größere pilzliche Schädigungen aufwies. Weiterhin könnten durch die Hackung mit diesem Maschinentyp stärkere mechanische Schädigungen verbunden sein. Hierauf deuten die in der eigenen Untersuchung festgestellten unregelmäßigen Schnittflächen hin. Schon wesentlich günstiger sind die Scheibenhacker-Hackschnitzeln zu beurteilen, wobei jedoch auffällt, daß die Unterschiede bei Hackschnitzeln aus dem Betrieb 2, in dem waldentrindetes Holz verarbeitet wurde, sich nicht so wesentlich von dem zuvor beschriebenen Maschinentyp abhoben, wie die Hackschnitzeln aus dem Betrieb 6, in dem werksentrindetes Holz verarbeitet wird. Damit kann vermutet werden, daß eine längere Lagerung von entrindetem Holz sich nicht nur in bezug auf die Fraktionsverteilung, sondern auch auf die Festigkeit der daraus erzeugten Faserstoffe negativ auswirkt. Jedoch ist insgesamt festzustellen, daß die Hackung mit Scheibenhackern günstigere Eigenschaften des TMP's und Zellstoffs hervorruft als die mit Trommelhackern. Die deutlich besten Ausbeuten und mechanischen Eigenschaften ergaben sich beim Einsatz von Profilspaner-Hackschnitzeln, die sich gegenüber den zuvor beschriebenen Schnitzeltypen durch eine größere Homogenität besonders in der Zielfraktion F3 und eine geringere Dicke auszeichneten, was einen gleichmäßigen

Aufschluß bzw. die Defibrierung begünstigen dürfte. Jedoch zeigten andererseits beide Untersuchungen, daß die KOCKUM-Profilspaner-Hackschnitzel bei einer deutlich höheren Ausbeute geringere Festigkeitswerte aufwiesen. Hier könnte sich die extrem geringe Dicke der entsprechenden Hackschnitzel negativ ausgewirkt haben.

Bei einer Betrachtung der Ergebnisse in bezug auf die einzelnen Hackschnitzelfractionen ist festzustellen, daß die günstigsten Ergebnisse bei der Zielfraktion, aber auch z. T. bei unfraktioni- niertem Material, erreicht wurde, während bei der Verarbeitung des Grob- bzw. Feinanteils Ausbeute und Festigkeiten sanken.

Der Weißgrad des TMP's und des Zellstoffs zeigte die gleiche Tendenz wie sie sich bei den Festigkeiten abzeichnete. So wurden deutlich geringere Weißgrade bei der Verarbeitung von Hackschnitzeln aus waldentrindetem Holz, das nach den eigenen Untersuchungen aufgrund längerer Lagerdauer und schlechteren Entrindungsergebnissen vermehrt Rotstreifigkeit und einen höheren Rindanteil aufweist, ermittelt. Ferner ergab sich bei der TMP-Herstellung, daß der Weißgrad des Feinanteils wesentlich geringer ist, als in der Zielfraktion. Damit wirkt sich, wie bereits in der eigenen Untersuchung ermittelt, der höhere Rinden- und Schmutzanteil in diesen Fraktionen stark negativ aus. Es ist also zur Erreichung von hohen Festigkeitswerten und Weißgraden dringend erforderlich, die Fraktion F5 auszu- sieben.

6. AUSWIRKUNGEN DER HACKSCHNITZZELLAGERUNG AUF DIE QUALITÄT DER HACKSCHNITZEL UND DES DARAUS ERZEUGTEN THERMOMECHANISCHEN SCHLIFFS

Aufgrund der in Abschn. 3.3.3.1 und 5. dargestellten Zusammenhänge, daß günstige TMP bzw. Zellstoffeigenschaften u. a. frisches Hackschnitzelmaterial erfordern, ist ein schneller Materialfluß vom Sägewerk zur Weiterverarbeitung anzustreben. Andererseits ist es in der Praxis unvermeidlich, daß die Hackschnitzel im Sägewerk bzw. auf dem Transport und vor allem vor der Verarbeitung mehr oder weniger lange lagern. Daher wurde in einer zusätzlichen Untersuchung geprüft, welchen Einfluß die Lagerung auf die Hackschnitzeleigenschaften und letztendlich auf das Endprodukt ausübt. Zwar berichten die verschiedensten Autoren über die Zusammenhänge zwischen Lagerung und Hackschnitzeleigenschaften (s. u. a. ANNEGREN et al., 1965; BERGMAN und NILSSON, 1971) und die Zusammenhänge zwischen Lagerung und Zellstoffeigenschaften (s. CHALK, 1968; PROCTER, 1973), jedoch erschien es sinnvoll eigene Untersuchungen unter hiesigen klimatischen Gegebenheiten und in Ausrichtung auf das TMP-Verfahren durchzuführen.

6.1 Methodisches Vorgehen

Um die Auswirkungen der Lagerung auf die Hackschnitzel- und TMP-Eigenschaften zu überprüfen, sollte definiertes Material unter kontrollierten Verhältnissen gelagert und die Veränderungen während der Lagerzeit untersucht werden. In Anlehnung an die in Kapitel 4 durchgeführten Untersuchungen waren der Zustand des Rundholzes, vor allem in bezug auf die Entrindungsqualität, evtl. pilzliche Schädigungen und Mantelverfärbungen, die Bedingungen der Hackschnitzelerzeugung und schließlich die

Fraktionsverteilung des Hackschnitzelmaterials zu erheben. Daneben mußten Form und Größe des Piles gezielt festgelegt werden, da sie einen Einfluß auf die Vorgänge während der Lagerung ausüben können.

Um Anhaltspunkte über diese Vorgänge zu erhalten, waren entsprechende Kenngrößen zu erheben. Hierzu eigneten sich besonders die Feuchtigkeit und der Temperaturverlauf. Als Auswirkungen der Lagerung auf die Hackschnitzzeigenschaften sollten die pilzlichen Schädigungen und Verfärbungen erhoben werden. Zur Ermittlung der Auswirkungen der Hackschnitzzellagerung auf das Endprodukt sollte in geregelten Zeitabständen aus dem Hackschnitzelmaterial TMP hergestellt und die Fraktionsverteilung, die Festigkeit und der Weißgrad des Fasermaterials bestimmt werden.

6.2 Versuchsdurchführung

Zur Ermittlung der Auswirkungen der Hackschnitzzellagerung auf die Hackschnitzzeigenschaften wurde je ein Lagerungsversuch in den Jahren 1978 und 1979 durchgeführt. Dabei wurde folgende Aufgabenteilung festgelegt: Beim ersten Lagerungsversuch erhob der Autor der vorliegenden Untersuchung die Rundholzmerkmale und beobachtete die Bereitstellungsmodalitäten. In festgelegten Zeitabständen wurden Proben aus dem Pile gezogen und an ihnen die Feuchtigkeit und Fraktionsverteilung bestimmt. Zusätzlich maß man jeweils den Weißgrad des Hackschnitzelmaterials. Parallel dazu stellte WELTE (1979) thermomechanischen Schliff her und beobachtete die Veränderungen seiner Eigenschaften. Zur Bestimmung der Vorgänge während der Lagerung führten KRUSE und PARAMESWARAN (1979 b) unter gleichen Bedingungen 1979 einen zweiten Lagerungsversuch durch.

1978 gelangten 400 Rundholzabschnitte, die im Mai/Juni eingeschlagen worden waren und aufgrund einer zweimonatigen Lagerung unter wahrscheinlich ungünstigen Verhältnissen z. T. stärkere Verfärbungen und Lineatus-Befall aufwiesen, zum Einschnitt. Dagegen handelte es sich 1979 um Rundholz, das zwischen Dezember und März eingeschlagen worden war und danach vier Monate gelagerte hatte. Der Einschnitt selbst erfolgte in beiden Fällen durch LINCK-Profilspaner. Obwohl 1979 das Rundholz vor dem Einschnitt nicht mehr charakterisiert wurde, kann davon ausgegangen werden, daß es sich in beiden Fällen um gleichwertiges, relativ frisches, aber aufgrund von Verfärbungen der Mantelflächen des Rundholzes um leicht vorgeschädigtes Material handelte.

Danach wurden jeweils vier LKW-Ladungen zu einem Pile von 3,5 m Höhe und einem Durchmesser von ca. 9 m aufgeschüttet. Die Lagerzeit betrug 1978 sechs Monate, vom 07.08.78 - 28.01.79, bzw. 1979 dreieinhalb Monate, vom 20.06. - 25.09.79. 1979 wurden während der Lagerung die Temperaturen im Pile mit Hilfe von Thermoelementen sowie die Außentemperatur überwacht. Im Abstand von 2 - 4 Wochen entnahm man Hackschnitzel, untersuchte die Feuchtigkeit, die Fraktionsverteilung, den Weißgrad, den Pilzbefall sowie den Masseverlust und stellte TMP her.

6.3 Diskussion der Versuchsergebnisse

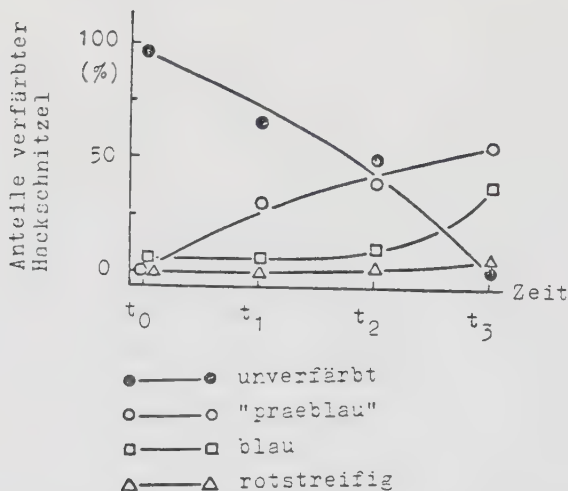
Während beim ersten Lagerungsversuch die Konditionen der Lagerung nicht aufgenommen wurden, beobachteten KRUSE und PARAMESWARAN (1979 b) den Temperaturverlauf innerhalb und außerhalb des Piles sowie pilzliche Schädigungen, Verfärbungen und den prozentualen Gewichtsverlust des Hackschnitzelmaterials. Die

Temperaturen im Pile standen in einer engen Beziehung zur Außentemperatur. Die höchsten Werte im Pile wurden mit 28°C wenige Tage nach Beginn der Lagerung gemessen. Sie sank danach wieder erheblich ab. Von ähnlichen Gegebenheiten kann für den Versuch im Jahre 1978 ausgegangen werden. Diese Ergebnisse liegen, selbst wenn man den geringen Umfang des Piles berücksichtigt, im Vergleich zu Literaturangaben sehr niedrig. So zieht HULME (1979) aus verschiedenen ähnlich gelagerten Untersuchungen das Resümee, daß in kleinen oder niedrigen (unter 3 m Höhe) Piles und bei einer Außentemperatur von 25°C die Innentemperatur um ca. 10°C ansteigt. Um diese Erscheinung zu erklären, bietet sich lediglich an, auf den geringen Feinanteil bei Profilspanner-Hackschnitzeln hinzuweisen; denn BERGMAN und NILSSON (1979) berichten, daß bei geringem Feinanteil die Luftzirkulation gefördert und damit der Temperaturanstieg behindert wird.

Im ersten Lagerungsversuch wiesen die Hackschnitzel schon bald nach Beginn der Lagerung eine grau-blaue Verfärbung auf. Dementsprechend fanden KRUSE und PARAMESWARAN (1979 b), daß der Anteil von unverfärbten Schnitzeln während der dreieinhalbmonatigen Lagerung von annähernd 100 % auf 0 % abnahm (s. Abb. 40). Dagegen wiesen am Ende der Lagerung 55 % der Hackschnitzel eine leichtere und 40 % eine stärkere Verblauung auf. Der Anteil an rotstreifigen Hackschnitzeln hatte nur leicht zugenommen. Mikroskopische Schnitte zeigten, daß sich die Verfärbungen und pilzlichen Schädigungen auf die peripheren Bereiche der Hackschnitzel beschränkten.

Der Masseverlust betrug nach 4, 9 bzw. 14 Wochen im Durchschnitt 0,4 %, 0,6 % bzw. 1,1 % (KRUSE und PARAMESWARAN, 1979 b). Dabei war der Masseverlust in den inneren Zonen nur geringfügig höher

Abb. 40: Prozentuale Darstellung von Hackschnitzelverfärbungen während eines Vierteljahres (KRUSE und PARAMESWARAN, 1979 b)



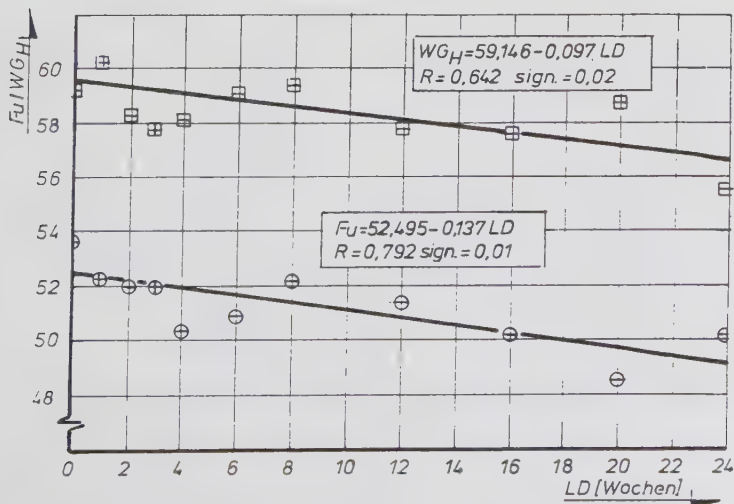
als in den äußeren. Dies entspricht auch dem nur geringen Temperaturgefälle im Pile. Lediglich an einer stark rotstreifigen Probe konnte ein Masseverlust von 8 % beobachtet werden. Dies kann als ein Hinweis gedeutet werden, daß bei bereits vorgeschädigtem Material mit höheren Masseverlusten zu rechnen ist. Diese beobachteten Abbauraten werden auch durch Ergebnisse von HATTON (1970) und BERGMAN et al (1970), die unter ähnlichen Bedingungen arbeiteten, bestätigt.

Die Veränderungen des Wassergehalts und Weißgrads während der Lagerung sind in Tab. 34 wiedergegeben; während Abb. 41 die Zusammenhänge zwischen Lagerdauer und Wassergehalt bzw. Weißgrad darstellt.

Tab. 34: Veränderungen der Hackschnitzeeigenschaften bei der Lagerung

Lagerdauer in Wochen	F_u %	WG_H %
0	53,6	59,1
1	52,2	60,2
2	52,0	58,2
3	52,0	57,7
4	50,3	58,1
6	51,9	59,1
8	52,2	59,4
12	51,4	57,8
16	50,1	57,5
20	48,5	58,7
24	50,1	55,5

Abb. 41: Zusammenhänge zwischen dem Wassergehalt (F_u) bzw. dem Weißgrad des Holzes (WG_H) und der Lagerdauer (LD)



Beginnend bei einer sehr hohen Ausgangsfeuchtigkeit hat sich danach der Wassergehalt während der sechsmonatigen Lagerung um 3,3 % (rechnerisch) - 3,5 % (real) nur geringfügig verändert. Dies dürfte zum einen auf die geringen Temperaturen im Pile während der Lagerung, zum anderen auf den Zeitpunkt der Lagerung im Herbst und Winter zurückzuführen sein. Der Weißgrad hatte sich während der sechsmonatigen Lagerung von 59,1 % um 2,3 % (rechnerisch) - 3,6 % (real) verschlechtert. Die sich damit ergebenden durchschnittlichen Weißgradverluste von 0,4 - 0,6 % sind im Vergleich zu den von KELLER (1972, 127 ff.) beobachteten Weißgradverlusten bei der Lagerung von Waldholz von 0,6 % - 1,5 % gering. Ferner zeigt dieses Ergebnis im Vergleich zu den von KRUSE beobachteten starken farblichen Veränderungen, daß eine erste oberflächliche Beurteilung von gelagertem Hackschnitzelmaterial zu einem zu negativen Bild führen kann. Gleichzeitig ist aber auch darauf zu verweisen, daß aus der Praxis berichtet wird, daß die Weißgradmessung mit dem ELREPHO-Gerät unter Verwendung des Filters R 46 bei verblauten Materialien stets recht günstig ausfällt.

Bei der TMP-Herstellung aus dem gelagerten Hackschnitzelmaterial wurde das in Tab. 35 dargestellte Ergebnis erreicht. Die einzelnen Stoffanteile haben keine Veränderung erfahren. Lediglich der Splitteranteil ist von 3,5 auf 6,3 % angestiegen. Dementsprechend ist bei weitgehend gleichbleibendem Mahlgrad keine Veränderung der mechanischen Eigenschaften des TMP's festzustellen. Dies weist im Zusammenhang mit der unveränderten Fraktionsverteilung darauf hin, daß während der sechsmonatigen Lagerung keine wesentlichen Veränderungen des Fasergefüges eingetreten sind.

Tab. 35: Veränderungen der Eigenschaften des TMP durch die Lagerung der Hackschnitzel

Lagerdauer (Wochen)	Mahlgrad (°SR)	Reißlänge (m)	WG _{TMP} (%)	Splitter (%)	R 30 (%)	R 50 (%)	R 200 (%)	D 200 (%)
0	72,5	4250	59,5	3,6	47,6	12,6	15,6	24,2
1	76,0	4400	56,9	3,5	46,2	12,3	17,4	21,6
2	73,0	4230	57,1	3,3	53,3	12,2	15,5	19,0
3	75,0	4350	56,2	3,6	47,0	11,9	15,7	25,4
4	71,0	4010	56,8	4,4	51,0	11,3	13,2	24,5
6	73,0	4170	57,4	4,4	49,5	11,9	15,1	23,5
8	75,5	4490	57,1	3,1	46,0	11,9	17,2	24,9
12	72,0	3990	56,1	4,5	48,5	12,8	12,9	25,8
16	74,5	4190	55,2	3,9	45,2	12,5	15,2	27,1
20	70,5	4140	54,7	5,6	51,8	12,3	14,3	21,6
24	74,0	4610	54,2	6,3	51,7	11,6	15,5	21,2

Bezüglich des Weißgrads des TMP's ergaben sich die in Abb. 42 dargestellten Zusammenhänge: Der Weißgrad hat während der sechsmonatigen Lagerung um etwa 3 % abgenommen. Korrelationskoeffizient und Signifikanz weisen den Zusammenhang als extrem gesichert aus. Im Vergleich zum Weißgrad der Hackschnitzel beginnt der TMP-Weißgrad auf einem um 2,5 % niedrigeren Niveau und fällt auch während der Lagerung etwas stärker ab. Dies entspricht den in Abschnitt 5.1.1 gemachten Beobachtungen. Die Zusammenhänge zwischen Hackschnitzel- und TMP-Weißgrad werden in Abb. 43 wiedergegeben. Diese Beziehung kann als sehr gut abgesichert angesehen werden. Danach erhöht sich der Weißgrad des TMP um 0,7 % bei einem Anstieg des Holzweißgrads um 1 %. Dieser Wert liegt etwas über dem von KELLER (1973, 120 f) angegebenen Steigungsmaß von 0,48 %.

6.4 Zusammenfassung

Die beiden Lagerungsversuche in den Jahren 1978 und 1979 litten darunter, daß nicht die Temperaturen erreicht wurden, wie sie bei entsprechenden Lagerungsversuchen aus der Praxis berichtet werden. Es darf jedoch angenommen werden, daß sich die in der vorliegenden Untersuchung gewonnenen Ergebnisse bei extremeren Lagerbedingungen ausgeprägter gewesen wären. Während der sechsmonatige Lagerung verminderten sich die Feuchtigkeit und der Holzweißgrad um 2,5 %, der TMP-Weißgrad um 3,3 %.

Die Festigkeit und die Zusammensetzung des TMP's veränderte sich jedoch durch die Lagerung des Hackschnitzelmaterials nicht. Daraus läßt sich folgern, daß bei entsprechender Lagerung (Pile-

Abb. 42: Zusammenhänge zwischen Lagerdauer (LD) und Weißgrad des TMP (WG_{TMP})

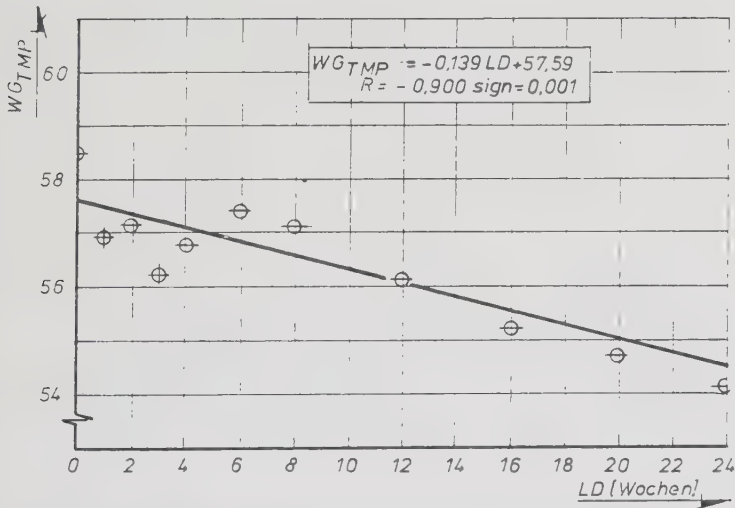
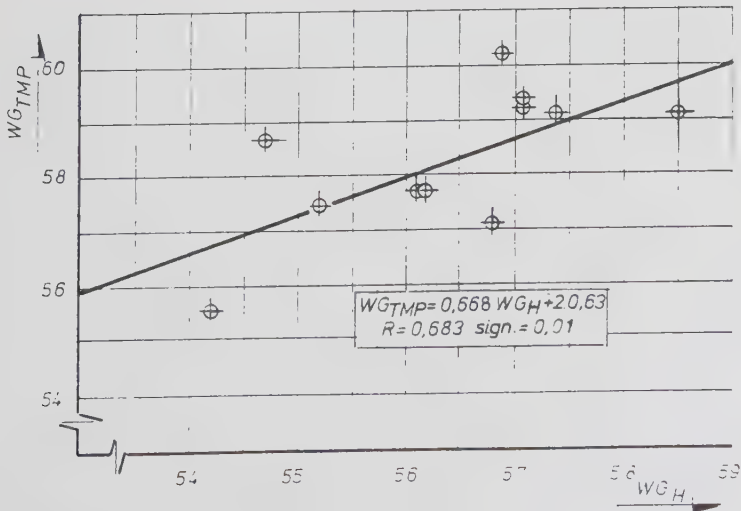


Abb. 43: Zusammenhänge zwischen dem Weißgrad des Holzes (WG_H) und dem des TMP (WG_{TMP})



höhe 3 m, Piledurchmesser 9 m) auch in Sommermonaten während dreimonatiger Lagerung mit Ausnahme des Weißgrads keine wesentlichen Verschlechterungen der Qaulität auftreten dürften. Jedoch sind aufgrund der Angaben in der Literatur große Piles und längere Lagerdauern zu vermeiden.

7. ABSCHLIESSENDE BETRACHTUNG

Ausgangspunkte der vorliegenden Untersuchung waren die schlechte Absatzsituation für das Sägerestholz, welches stark schwankende Qualitäten aufweist und die sich für die kommenden Jahre abzeichnende Verknappung auf dem Industrieholzsektor. In dieser Situation stellte sich die Frage, inwieweit durch den verstärkten Einsatz von Sägerestholz die zu erwartenden Lücken im Faserholzbereich geschlossen werden könnten. Damit waren folgende Fragen zu klären:

- Welche Merkmale charakterisieren das Sägerestholz?
- Durch welche Faktoren werden diese Merkmale beeinflusst?
- Wie wirken sie sich bei der Weiterverarbeitung zu TMP und Zellstoff aus?
- Wie ist damit ihr verarbeitungsorientierter Wert zu beurteilen?

Bezüglich des Untersuchungsgegenstands beschränkte man sich auf die Schwarten und Spreiße der Baumart Fichte.

In einem ersten Schritt wurden anhand von Literaturstudien folgende Eigenschaften des Sägerestholzes hergeleitet, die in irgend einer Form bei der Herstellung von Zellstoff und Hackschnitzelschliff von Bedeutung sein könnten:

- Wassergehalt
- Rindenanteil
- Weißgrad
- Fraktionsverteilung
- Faserschädigungen
- Pilzbefall

Um diese Eigenschaften des Sägerestholzes systematisch erheben und gezielt analysieren zu können, unterschied man zum einen nach Betrieben, die waldentrindetes Holz verarbeiten und nach solchen, bei denen die Entrindung im Werk erfolgt, zum anderen nach den Maschinentypen Trommel- bzw. Scheibenhacker sowie Profilspanern.

Bei der Versuchsdurchführung wurden in zehn Sägewerksbetrieben in zwei Versuchsreihen aus der laufenden Produktion Hackschnitzelproben entnommen, wobei gleichzeitig die Gegebenheiten bei der Bereitstellung des Rundholzes und während des Einschnitts erhoben wurden. Danach folgte die Bestimmung der zuvor beschriebenen Eigenschaften. Im Anschluß daran wurde an der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft aus einem Teil des charakterisierten Materials TMP bzw. Zellstoff hergestellt. Zur Interpretation der Ergebnisse bezüglich der Restholzmerkmale standen ferner die Daten der Betriebseingangskontrolle der HAINDL-Papier GmbH für das bezogene Hackschnitzelmaterial zur Verfügung. Allgemein ergab sich, daß die einzelnen Eigenschaften sowohl für die Gesamterhebung, als auch für die einzelnen Proben sehr stark schwankten. Dies war zum wesentlichen auf die Inhomogenität des Rundholzes in bezug auf Entrindungsqualität, Astigkeit und sonstige Merkmale zurückzuführen. Hinzu kam die Schwierigkeit, die Bereitstellungsmodalität, z. B. Lagerdauer und Lagerart, und die Gegebenheiten während der Hackung, vor allem Zustand der Hackmesser, exakt erfassen zu können. Dies bedingte eine vorsichtige Interpretation der Ergebnisse.

Im einzelnen sind sich folgende Ergebnisse festzuhalten:

Hackschnitzel aus waldentrindetem Holz, das im Durchschnitt länger und durch die Entfernung der Rinde unter ungünstigeren Bedingungen gelagert hatte, wiesen eine schlechte Fraktionsverteilung auf. Ferner wirkte sich der höhere Rindenanteil, hervorgerufen durch Handentrindung bzw. schlechte maschinelle Entrindung, negativ auf den Weißgrad aus. Diese Ergebnisse fanden bei der Herstellung von TMP und Zellstoff in geringen Festigkeiten und einem niedrigen Weißgrad einen Niederschlag. Generell waren die Hackschnitzel aus werksentrindetem Holz günstiger zu bewerten. Jedoch traten teilweise aufgrund längerer Lagerung in Rinde größere Verfärbungen des Rundholzmantels auf, die sich in einem geringeren Weißgrad des Holzes niederschlugen.

Die Wahl des Maschinentyps beeinflusste die Fraktionsverteilung sehr wesentlich. Durch die kontrolliertere "Hackung" mit Profilspanern ergaben sich gegenüber der Hackschnitzelherstellung mit konventionellen Hackern wesentlich gleichmäßigere Hackschnitzel, was dann bei der TMP- bzw. Zellstoffherstellung zu hohen Ausbeuten und günstigeren mechanischen Eigenschaften führte. Bei einer Unterscheidung zwischen den Profilspanern der Bauart KOCKUMS und LINCK zeigte sich, daß mit den KOCKUMS-Profilspanern zwar ein höherer Anteil der Zielfraktion erhalten wird, der daraus erzeugte Zellstoff bzw. TMP jedoch geringere Festigkeiten aufwies. Dies ist auf die geringere Dicke der mit KOCKUMS-Profilspanern erzeugten Hackschnitzel zurückzuführen. Mit Scheibenhackern erzeugte Hackschnitzel wiesen gegenüber den Trommelhackern eine deutlich bessere Fraktionsverteilung auf. Dies fand auch seinen Niederschlag in höheren mechanischen Festigkeiten der daraus erzeugten Faserstoffe. Als Ursache sind die unterschiedlichen Hackprinzipien anzusehen, wobei die in den Trommelhacker eingebauten Siebe, zwar die Fraktionsverteilung günstig beeinflussen, aber die damit verbundenen Faserschäden sich ne-

gativ auf die Festigkeiten des TMP's und des Zellstoffs auswirken dürften. Während für die Profilspaner bei maximalen Messerstandzeiten von 2 Tagen keine Veränderungen der Fraktionsverteilung beobachtet werden konnten, ergab sich für die Trommelhacker bei einer Messerstandzeit von maximal 2,5 Tagen eine deutliche Verschlechterung der Fraktionsverteilung. Im Gegensatz dazu wurden bei den Scheibenhackern mit Messerstandzeiten von maximal 15 Tagen keine Veränderungen der Fraktionsverteilung beobachtet.

Neben den durch die Bereitstellungsmodalitäten und Maschinentypen verursachten Veränderungen der Hackschnitzelmerkmale ergaben sich auch Einflüsse durch die Eigenschaften des Holzes und der Restholzsortimente. Im Rahmen der Untersuchung ergab sich, daß die Astigkeit des Holzes sowohl die Fraktionsverteilung als auch den Rindenanteil des Hackschnitzelmaterials negativ beeinflusst. Da in den Gattersägewerken weitgehend Starkholz und in den Profilspanerwerken vorwiegend Schwachholz eingeschnitten wurde, ergaben sich auch wesentliche Unterschiede in bezug auf die Astigkeit, die ihren Niederschlag in der Fraktionsverteilung fanden. Bezüglich der Veränderungen der Jahrringbreite konnten keine abgesicherten Zusammenhänge mit der Fraktionsverteilung festgestellt werden, es ergaben sich jedoch Hinweise, daß sehr enge und sehr weite Jahrringe das Fraktionsergebnis negativ verändern.

Für die Restholzsortimente Schwarten und Spreißel konnten weder in der eigenen Untersuchung noch bei der Herstellung von TMP und Zellstoff gesicherte Unterschiede festgestellt werden. Bei der Herstellung von TMP und Zellstoff aus den von der Zielfraktion abweichenden Fraktionen des Hackschnitzelmaterials wurden wesentlich schlechtere Ergebnisse erzielt. Während dies für die

Festigkeitseigenschaften allgemein gilt, kommt für den Feinanteil aufgrund des hohen Anteils von Rinde und Schmutz eine wesentliche Verringerung des Weißgrads hinzu. Damit gewinnt die Absiebung dieser Fraktionen eine besondere Bedeutung.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Verarbeitung von waldentrindetem Holz sowie die Herstellung der Hackschnitzel mit Trommelhackern die Hackschnitzzeigenschaft und damit die Qualität der daraus erzeugten Produkte recht negativ beeinflußt. Sehr viel günstiger war die Verarbeitung von werksentrindetem Holz sowie die Hackung mit Scheibenhackern. Die besten Ergebnisse wurden aufgrund der günstigen Holzqualität und Hackbedingungen in den Profilspanerwerken beobachtet. Für die Gattersägewerke ergibt sich die Empfehlung, auch unter dem Gesichtspunkt, die Restholzqualität anzuheben, die Lagerzeit zu verkürzen, die Entrindung möglichst ins Werk zu verlagern und eine exakte Siebung durchzuführen.

8. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

α	: Freiwinkel (Hacker)
AST1	: Astanzahl
AST2	: Astdurchmesser
AST3	: Astzustand
atro	: (absolut) trocken
β	: Schneidenwinkel (Hacker)
BML	: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn
ξ	: Einlaufwinkel (Hacker)
ECE	: Economic Commission for Europe
ENTR	: Entrindungsqualität
ESZ	: Einschlagszeitpunkt
F	: Summe der monatlichen Trocknungsraten während der Lagerung
F1 - F5	: Fraktion 1 bis 5
F1 _a - F5 _a	: Fraktion 1 bis 5 in trockenem Zustand
F1 ₁ - F5 ₁	: Fraktion 1 bis 5 in feuchtem Zustand
FAO	: Forest and Agricultural Organisation, Rom
F _o	: Feuchtigkeit
F _u	: Wassergehalt
G _o	: Trockengewicht
G _u	: Feuchtgewicht
IF	: Industrieholz - faul
IK	: Industrieholz - krank
IN	: Industrieholz - normal
J	: Jahrringbreite
λ	: = $90 - (\alpha + \beta + \xi)$ Restwinkel von 90° - (Einlauf- + Frei- + Schneidenwinkel)
LD	: Lagerdauer
lutro	: feucht
MSZ	: Messerstandzeit

N	: Hackschnitzelsortiment "Normal", Mischung aus Schwarten und Spreißeln
n	: Stichprobenumfang
Ps	: Profilspaner-Hackschnitzel
PS	: Profilspaner
PSL	: LINCK-Profilspaner
PSK	: KOCKUMS-Profilspaner
R	: Korrelationskoeffizient
R _i	: Rindenanteil
R _{i_a}	: Rindenanteil - trocken
R _{i₁}	: Rindenanteil - feucht
s	: Standardabweichung
s ²	: Varianz
Schw	: Schwarten
Sp	: Spreißel
sign.	: Signifikanzniveau
S $\bar{y}$	: Repräsentationsfehler
TH	: Trommelhacker
TMP	: Thermomechanischer Schliff
V	: Variationskoeffizient
VAZ	: Verarbeitungszeitpunkt
VDP	: Verband Deutscher Papierfabriken e. V., Bonn
WG _H	: Holzweißgrad
WG _{TMP}	: Weißgrad des TMP
WG _S	: Weißgrad des Schliffs
$\bar{x}$	: Mittelwert
x ₁	: monatliche Trocknungsrate
ZMP	: Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle für Erzeugnisse der Land-, Forst- und Ernährungs- wirtschaft GmbH, Bonn-Bad Godesberg
I	: Betriebstyp I (Gattersägewerke mit Waldentrindung)
II	: Betriebstyp II (Gattersägewerke mit Werksentrindung)
III	: Betriebstyp III (Profilspanerwerke)

9. LITERATURVERZEICHNIS

- | | | |
|--|--------|--|
| ADOLF, P.; GERSTETTER, E.;
LIESE, W. | 1972 | "Untersuchungen über einige
Eigenschaften von Fichten-
holz nach dreijähriger Was-
serlagerung"
Holzforschung 25 (1972) 1,
19-25 |
| ANNEGREN, G.; BENGTSSON, B.;
DILLINGER, B.; HAGLUND, A.;
JAGERUD, G. | 1965 | "Outside chip storage experi-
ments"
Svedish Paperstidn. 68 (1965)
9, 309-326 |
| BAUSCH, H.; HARTLER, N. | 1960 a | "Determination of chip dimen-
sions"
Svensk Paperstidn. 63 (1960)
10, 319-326 |
| BAUSCH, H.; HARTLER, N. | 1960 b | "Effect of chip damage on the
quality of sulphite paper pulp"
Svensk Paperstidn. 64 (1960)
279-285 |
| BAUSCH, H.; HARTLER, N.;
JERKMAN, P. | 1970 | "Production of microbial de-
terioration in outside chipe
storage by alkali treatments"
Svensk Paperstidn. 74 (1970)
20, 653-666 |
| BERGMAN, O.; NILSSON, T. | 1971 | "Studies on outside storage
of sawmill chips"
Rapp.Inst.Virk. Skog, Stock-
holm (1971) R. 71, 545 |
| BJÖRKMANN, E. | 1958 | "Log blue stain and storage
decay in pine and spruce
timber with special reference
to felling time and treatment
during floating"
Kungl. Skogssköläps Skriften
Nr. 30 (1958), 49 S |
| BORLEW, R.B.; MILLER, R.L. | 1970 | "Chip thickness" A critical
dimension in Kraft pulping"
Tappi 53 (1970) 11, 2107-2111 |
| BRECHT, W.; SCHRÖTER, H.;
SÜTTIGER, R. | 1938 | "Der Einfluß der Holzfeuchtig-
keit auf die Erzeugung von
Holzschilff aus weißem Fich-
tenholz"
Papierfabrikant (1938) 421-422 |

- | | | |
|---|---------------|--|
| BRECHT, W; SCHUSTER, H. | 1954 | "Der Einfluß der Holzfeuchtigkeit beim Schleißprozeß"
Das Papier 8 (1954)
21/22, 462-469 |
| BREITLING, M.; PATT, R. | 1975 | "Über die Eignung von Fichten-Industrierestholz-Hackschnitzeln zur Zellstoffherstellung"
Papier 29 (1975) 10, 437-442 |
| BUNDESMINISTERIUM FÜR
ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT
UND FORSTEN | 1972-
1978 | "Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland"
Landwirtschaftsverlag GmbH,
Münster-Hiltrup, Jg. 1972-1978 |
| BURKHART, H. | 1979 | "Untersuchungen über den Einfluß der Qualität von Restholzhackschnitzeln verschiedener Herstellungshinweise auf die Eigenschaften daraus hergestellter Sulfitzellstoffe"
Diplomarbeit Hamburg, 1979, 71 S |
| CHALK, R. | 1968 | "Wood deterioration during outside chip storage"
Pulp Paper Mag. Canada 69
(1968) 6, 75-85 |
| CHRISTIE, R.D. | 1979 | "The use of decayed wood in pulping processes"
in: HATTON, J.V.: Chip quality monograph
Joint Textbook Committee of the Paper Industry, Pulp and Paper Technology Series No. 55
Vancouver (1979), 111-128 |
| COLOMBO, P.; CORBETTA, D.;
PIROTTA, A.; RAFFINI, G. | 1964 | "The influence of thickness of chips on pulp properties in kraft cooking"
Svensk Papperstidn. 62 (1964)
12, 505-511 |
| CORSON, S.R. | 1973 | "Simulation of refiner mechanical pulp production"
New Zealand Eng., N.Z. For Serv.
Reprint No. 627 (1973) 255 |

- | | | |
|--|--------|---|
| DAHM, H.P. | 1960 | "Chip quality and chipping"
Norsk Skogind. 14 (1960)
11, 419-426 |
| DIETZ, P. | 1966 | "Die Vermessung von Industrie-
holz nach Gewicht"
Dissertation Freiburg 1966, 335 |
| DIETZ, P. | 1975 | "Dichte und Rindengehalt von
Industrieholz"
Holz als Roh- und Werkstoff
33 (1975) 135-141 |
| DIN | 1952 | "DIN 52 183 Prüfung von Holz:
Bestimmung des Feuchtigkeits-
gehaltes"
Fachnormenausschuß Holz im DNA
(1952) 1 S |
| EDBERG, U.; ENGSTRÖM, L.;
HARTLER, N. | 1971 | "Standardmethod for screening
of market chips"
Svensk Paperstidn. 74 (1971)
19, 617-618 |
| EDBERG, U.; ENGSTRÖM, L.;
HARTLER, N. | 1972 | "Inverkan av maskinkondition
och nagra flinsningsparametrar
pa fleshvaliteten Resultat från
nagra fabriksförsök"
Svensk Träforskningsinstitutet,
Int. Rep. Serie B, No. 143
(1972) 26 S |
| EDBERG, U.; ENGSTRÖM, L.;
HARTLER, N. | 1973 a | "The influence of chip dimension:
on chip balk denstiy"
Svensk Papierstidn. 76
(1973) 14, 529-533 |
| EDBERG, U.; ENGSTRÖM, L.;
HARTLER, N. | 1973 b | "Reducerfliskvalitet-jämförelse
av flies från nagra oloka
maskiner"
Svensk Paperstidn. 76
(1973) 14, 534-539 |
| EDBERG, U.; ENGSTRÖM, L.;
STADE, Y. | 1974 | "Spankarakterisering för sulfat-
massatill verkning"
Svenska Träforskningsinstitutet
Int. Rep. Serie B, No. 269,
(1974) 245 |

- | | | |
|----------------------------|------|---|
| EDBERG, U.; ESKILSSON, S. | 1972 | "Analysis of pin chips"
Svensk papperstidn. 75
(1972) 12, 467-472 |
| ERICKSON, J.R. | 1972 | "The estates of debarking wood chips"
Tappi 55 (1972) 1216-1220 |
| ERICKSON, J. R. | 1979 | "Separation of bark from wood"
in: HATTON, J.V.: Chip quality monograph
Joint Textbook committee of the Paper Industry Pulp and Paper Technology Series No. 5
Vancouver (1979) 145-170 |
| FAHN, A. | 1974 | "Plant Anatomy"
Bergamon Press, Oxford-New York-Toronto-Braunschweig,
2. Auflage (1974) 245 S |
| FAO/ECE | 1976 | "European timber trends and prospects 1950-2000"
Timber Bull. for Europe Vol. 29/
Suppl. 3 Genf (1976) 308 S |
| FREY-WYSSLING | 1953 | "Über den Feinbau der Stauchlinien in überbeanspruchtem Holz"
Holz als Roh- und Werkstoff 7
(1953) 9, 283-288 |
| FRIEMEL, G.; PEISERT, H.M. | 1978 | "Untersuchungen der Qualität von Industrierestholz - dargestellt an Hackschnitzeln aus waldentrindetem Fichtenrundholz"
Diplomarbeit Freiburg, 1978 |
| FRÜHWALD, A. | 1978 | "Die Abfallproblematik in der Holzindustrie unter besonderer Berücksichtigung der Sägeindustrie"
in: Produktionssteigerung, Holzversorgung, Strukturveränderung, Schnittholzsymbole, Technik
DRW-Verlag Stuttgart
(1978) 130-143 |

- | | | |
|----------------------------|------|--|
| GABLER, Th. | 1975 | Wirtschaftslexikon
9. Auflage, Betriebswirtschafts-
lehre Verlag Dr. Th. Gabler,
Wiesbaden 1975
hier: Stichwort "Bewertung",
Band I, 733 ff. |
| GALLOWAY, L.; THOMAS, P.R. | 1972 | "Studies on chip quality from
a chip-N-Saw chipping headrig"
Pulp Paper Mag. Canada
73 (1972) 8, 82-86 |
| GAVELIN, G. | 1976 | "Thermomechanischer Schliff ist
anders"
Pulp Paper Int. 18 (1976) 70-73 |
| GAVELIN, G. | 1978 | "The energy consumption in TMP
pulping"
Svensk paperstidn.
81 (1976) 9, 283-284 |
| GLÄSER, H. | 1960 | "Die Einflüsse der Fällzeit, La-
gerung und Vorbehandlung des
Fichtenfaserholzes auf den Ent-
rindungsvorgang bei der Naß-
reibungsentrindung"
Das Papier 14 (1960) 12, 710-718 |
| GRAMMEL, R. | 1969 | "Bringung und Entrindung"
Forsttechnische Information,
(1969) 10, 81-84 |
| GRAMMEL, R. | 1976 | "Industrieholzüberangebot, Lösung
durch eine Sulfatzellstoffin-
dustrie"?"
Kolloquienreihe Forstbenutzung
der Forstwissenschaftlichen
Fakultät der Albert-Ludwigs-
Universität, Freiburg
Heft 1, Freiburg (1976) 36 S |
| GRAMMEL, R. | 1978 | "Entwicklung in der Sägeindustrie
und ihre Auswirkungen auf den
Forstbetrieb"
Kolloquienreihe Forstbenutzung
der Forstwissenschaftlichen
Fakultät der Albert-Ludwigs-
Universität Freiburg
WS 1977/78, Heft 3 (1978) 52 S |

- | | | |
|-------------|--------|---|
| HAAS, M. | 1976 | "Die Position der Zellstoff- und Papierindustrie in der Frage einer deutschen Sulfatzellstoff-Produktion"
in: GRAMMEL, R.: "Industrieholz-überangebot, Lösung durch eine Sulfatzellstoffindustrie?"
Kolloquienreihe Forstbenutzung der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität, Freiburg, WS 1975/76 Heft 1 (1976) 23-30 |
| HARTLER, N. | 1961 | "Nagra synpunkter pa parallelskuren flis"
Svensk Paperstidn. 64 (1961) 4, 101-107 |
| HARTLER, N. | 1962 a | "Penetration and diffusion relation-chips during sulphate cooking"
Svensk Paperstidn. 44 (1962) 7, 365-374 |
| HARTLER, N. | 1962 b | "The effect of spout angle as studied in experimental chipper"
Svensk Paperstidn. 65 (1962) 6, 351-362 |
| HARTLER, N. | 1962 c | "The effect of sharpness angle as studied in an experimental chipper"
Svensk Paperstidn. 65 (1962) 7, 397-402 |
| HARTLER, N. | 1962 d | "Studies in the section feeding of chippers"
Svensk Paperstidn. 65 (1962) 9, 475-487 |
| HARTLER, N. | 1963 a | "Some studies on the quality of chips for pulp production"
Svensk Paperstidn. 66 (1963) 18, 696-700 |
| HARTLER, N. | 1963 b | "Some modell studies on wood chipping in a laboratory maschine"
Svensk Paperstidn. 66 (1963) 16, 587-598 |

- HARTLER, N. 1965 "Possibilities of increasing the yield in kraft pulping" Svensk Paperstidn. 68 (1965) 10, 369-377
- HARTLER, N. 1971 "Neue Gesichtspunkte bei der Beurteilung von Hackschnitzeln" Das Papier 25 (1971) 10 A, 645-652
- HARTLER, N.; STADE, Y. 1979 "Chip specifications for various pulping processes" in: HATTON, J.V.: Chip Quality Monograph Joint Textbook committee of the Paper Industry Pulp and Paper Technology Series No. 5 (1975) 273-302
- HATTON, J.V. 1970 "Precise studies on the effect of outside ship storage on fiber yield: White spruce and lodgepole pine" Tappi 53 (1970) 3, 627-638
- HATTON, J.V. 1975 a "Mill treeting of WTPL-chip-quality procedure" Vancouver: Dept. Environment Canada Forestry Serv., Western Forest Prod. Lab. Jan. (1975) 56 S.
- HATTON, J.V. 1975 b "Quality and kraft pulping characteristics of residual chips" Tappi 58 (1975) 2, 110-114
- HATTON, J.V. 1975 c "WTPL chip quality analytical procedure: Effect of test parameters on screening efficiency and analysis time" Pulp Paper Mag. Canada 76 (1975) 7, 217-219
- HATTON, J.V. 1977 "Seasonal, species and chipper variations in sawmill chip quality" Tappi 60 (1977) 8, 107-100

- | | | |
|---------------------------|------|---|
| HATTON, J.V. | 1979 | "Chip quality analytical procedures"
in: HATTON, J.V.: Chip Quality Monograph
Joint Textbook committee of the Paper Industry
Pulp and Paper Technology
Series No. 5 (1975) 303-323 |
| HATTON, J.V. | 1979 | "Chip Quality Monograph"
Joint Textbook committee
Pulp and Paper Technology
Series No. 5, Tappi 1979, 323 S |
| HATTON, J.V.; HUNT, K. | 1972 | "Effect of prolonged outside chip storage on yield and quality of kraft pulps from picea glauca and pinus contorta chips"
Tappi 55 (1972) 1, 122-126 |
| HATTON, J.V.; KEAYS, J.L. | 1973 | "Effect of chip geometry and moisture on yield and quality of kraft pulps from western hemlock and black spruce"
Pulp Paper Mag. Can. 74 (1973) 1, 11-19 |
| HEID, R. | 1976 | "Aufkommen und Verwertung von Schwachholzsortimenten aus baden-württembergischer Sicht"
in: GRAMMEL, R.: Industrieholz-überangebot, Lösung durch eine Sulfatzellstoffindustrie?
Kolloquienreihe Forstbenutzung der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Freiburg, WS 1975/76, Heft 1, 3-5 |
| HEUGEL, H.; GEIGER, M. | 1977 | "Einige Merkmale zur Charakterisierung von Industrierestholz in bezug auf seine Verwertbarkeit zur Herstellung von Refiner-Schliff - dargestellt an Profilspanerschnitzeln
Diplomarbeit Freiburg (1977) |

- | | | |
|--|------|--|
| MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG
LANDWIRTSCHAFT, WEINBAU
UND FORSTEN BADEN-WÜRT-
TEMBERG | 1974 | "Gesetzliche Handelsklassensor-
tierung für Rohholz (Forst-HKS)
mit Ergänzungsbestimmungen für
Baden-Württemberg,
Stand 01.10.1974 |
| HOLTAPPELS, H. | 1974 | "Bestimmung der günstigsten Hack-
schnittelform im Hinblick auf
eine schnelle Imprägnation"
Dissertation Graz, (1974) 136 S |
| HULME, M.A. | 1979 | "Outside chip storage - deteriora-
tion during OCS"
in HATTON, J.V.: Chip monograph
Joint Texbook committee of the
Paper Industry
Pulp and Paper Technologie,
Series No. 5
Vancouver (1979) 213-249 |
| ISOTALO, I.; GOTTSCHIED, L.;
VIRKOLA, N.E.; NORDMAN, L. | 1964 | "The preparation of sawdust sul-
phate pulp and its printing
paper manufacture, I and II"
Paperie Puu 46 (1964) 371-385;
4 a, 237-248 |
| JENSEN, W.; MANNSTRÖM, B. | 1976 | "Thermomechanischer Schliff-Ent-
wicklungen am finnischen For-
schungsinstitut"
Paper 185 (1976) 36-41 |
| KALISH, H. | 1977 | "A more critical view of TMP in
Helsinki"
Pulp and Paper Mag. Canada 78
(1977) 1, 38-42 |
| KAPPENSTEIN, L. | 1975 | "Die Aufkommens- und Verwendungs-
übersichten 1972-1973"
Holz-Zentralblatt 101 (1975)
29, 396 |
| KAPPENSTEIN, L. | 1978 | "Aufkommen und Verwendung von
Nadel- und Laubholz
Holz-Zentralblatt 104 (1978)
23, 385 |
| KAPPENSTEIN, L. | 1979 | "Aufkommen und Verwendung von
Industrierestholz"
Holz-Zentralblatt 105 (1979)
101, 1472-1473 |

- | | | |
|-----------------------------|--------|--|
| KEYS, J.L. | 1975 | "Projection of world demand and supply for wood fiber to the year 2000"
Tappi 58 (1975) 11, 90-95 |
| KELLER, B. | 1973 | "Einflüsse des Einschlagszeitpunktes, der Lagerart und Lagerdauer auf den Wert von Fichten-Schleifholz"
Dissertation Freiburg, 1973 |
| KETTERING, H. | 1976 | "Entwicklung des Industrieholzaufkommens in Rheinland-Pfalz" in: GRAMMEL, R.: Industrieholzüberangebot - Lösung durch eine Sulfatzellstoffindustrie? Kolloquienreihe Forstbenutzung der Forstlichen Fakultät der Universität Freiburg, WS 75/76, Heft 1, 6-9 |
| KLEMM, K.H. | 1957 | "Neuzeitliche Holzschlifferzeugung"
Papiertechnische Bibliothek Bd. 9, Dr. Sündig Verlag KG, Wiesbaden (1957), 75 S |
| KNELL, G. | 1968 | "Untersuchungen über die Holzfeuchte und Holzfarbe von Fichtenschleifholz"
Dissertation Freiburg, 1968 |
| KRUSE, J., PARAMESWARAN, W. | 1979 a | "Pile-Versuch mit industriellen Hackschnitzeln"
Versuchsbericht (1979)
(unveröffentlicht) |
| KRUSE, J.; PARAMESWARAN, W. | 1979 b | "Mikroskopische Charakterisierung von Hackschnitzeln sowie daraus festgestellten Stoffen (TMP/Zellstoff) und Papieren"
Versuchsbericht (1979)
(unveröffentlicht) |
| LEASK, R. | 1975 | "Thermomechanischer Schliff - eine Übersicht"
Pulp Paper Canada 76 (1975) 52-60 |

- | | | |
|--------------------------------------|------|---|
| LEINERT, S. | 1973 | "Die mechanische Entrindung von Nadelstammholz"
Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Band 40 (1973) 81 S |
| LENZ, H.-Chr. | 1963 | "Aufkommen, Verwertung und wirtschaftliche Bedeutung des Sägestholzes - Eine Untersuchung in der Sägeindustrie - ausgewählte Wirtschaftsgebiete Nordwürttembergs und Ostbayerns"
Dissertation Hamburg (1963) 225 S |
| LIESE, W.; AMMER, U. | 1958 | "Untersuchungen über die Länge der Holzfaser bei Pappel"
Holzforschung 11 (1958) 169-174 |
| LUNGQUIST, K.J. | 1967 | "Screening of chips with a short screen"
Svensk Paperstidn. 70 (1967) 12, 393-400 |
| MC. GOVERN, J.N. | 1979 | "Raw material in chip production"
in: HATTON, J.V.: Chip monograph
Joint Text committee of the Paper Industry
Pulp and Paper Technology
Series No. 5
Vancouver (1979) 91-110 |
| MC. LAUHLAN, T.A.;
LAPOINTE, J.A. | 1979 | "Production of chips disk-chippers"
in: HATTON, J.V.: Chip monograph
Joint Text committee of the Paper Industry
Pulp and Paper Technology
Series No. 5
Vancouver (1979) 15-32 |
| MELTZER, K.P. | 1966 | "Das optische Remissionsverhalten ungebleichter und gebleichter Holzschliffe in Abhängigkeit von Weißgrad und Farbe des Holzes"
Dissertation Darmstadt (1966) 115 S |

- | | | |
|---|------|---|
| MESSMER, K.; SERENTSCHY, W. | 1978 | "Ökologische Faktoren und Pilzflora in industriellen Sägespäne-piles"
Holzforschung und Holzverwertung
30 (1978) 4/5, 77-79 |
| MONTMORENCY, W.H. | 1964 | "The moisture in wood as a factor in the groundwood process"
Pulp Paper Mag. Canada 65
(1964) T 23 -T 245 |
| NOCK, H.P.; STEGMANN, G. | 1979 | "Potential von Holzabfällen der Holzindustrie in der Bundesrepublik Deutschland"
Forstarchiv 50 (1979) 1, 1-8 |
| NYLINDER, P. | 1953 | "Über die Verteilung von Rohdichte und Holzfeuchtigkeit in Kiefern- und Fichtenstämmen und ihre Bedeutung für die Flößerei in Schweden"
Holz als Roh- und Werkstoff 7
(1953), 354-360 |
| PECHMANN, H. | 1966 | "Ergebnisse neuerer Untersuchungen über Lagerschäden an Nadelrundholz"
Vortrag Forstwissenschaftliche Hochschultagung (1966) |
| PECHMANN, H.; AUFSESS, H.; LIESE, W.; AMMER, U. | 1967 | "Untersuchungen über die Rotstreifigkeit des Fichtenholzes"
Forstwissenschaftliche Forschungen (1967) Heft 27 |
| PROCTER, A. R. | 1973 | "The effect of rot on kraft pulp yield and quality - a review"
Pulp Paper Mag. Canada
74 (1973) 4, T 134-T140 |
| PRODAN, M. | 1961 | "Forstliche Biometrie"
BLV Verlagsgesellschaft München, Bonn, Wien 1961, 432 S |
| RAGGAM, A. | 1976 | "Die optimale Hackschnitzelform im Imprägnierungs- und Aufschlußprozeß"
Das österreichische Papier 9
(1976) 1, 22-25 |

- | | | |
|-------------------------------------|------|--|
| RYDGIHOLM, S.A. | 1965 | "Pulping process"
Interscience Publisher, New York
(1965) 675 S |
| SACHS, L. | 1971 | "Statistische Auswertungsmethoden"
Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York (1971) 544 S |
| SACHSSE, H. | 1955 | "Die Bedeutung der Schubwiderstände für die mechanische Ent-rindung von Fichtenholz im Forstbetrieb"
Neumann Verlag, Radebeul und Berlin (1955) 64 S |
| SANDERMANN, W. | 1956 | "Grundlagen der Chemie und chemischen Technologie des Holzes"
Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Proting KG, Leipzig (1956) 498 S |
| SCHREIBER, A. | 1976 | "Rohholzaufkommen und Holzverwendung - Erkennbare Tendenzen unter besonderer Berücksichtigung des Schwachholzsektors"
Holz-Zentralblatt 102
(1976) 29, 387-388 |
| STEINLIN, H. | 1975 | "Die Entwicklung der Zellstoff- und Papierindustrie"
Holz-Zentralblatt 101
(1975) 44, 593-596 |
| STONE, J.E.;
NICKERSON, L.F. | 1959 | "The pulping of mechanically treated wood" - I crusted softwood"
Tappi 43 (1959) 51-57 |
| TRENDELENBURG, R.;
MAYER-WEGELIN | 1955 | "Das Holz als Rohstoff"
2. Auflage
C. Hauser Verlag München
(1955) 542 S |
| WECHSELBERGER H.J. | 1977 | "Aushaltung von Schwachholz im Bereich der Vor- und Endnutzung; Vermessung sowie Verkauf"
Holz-Zentralblatt 39
(1977) 103, 599-600 |

WELTE, M.	1979	"Herstellung von TMP aus Restholz-hackschnitzeln" Versuchsbericht (1979) (unveröffentlicht)
WENNBERGS, C.J.	1966	"Weverk shot screen" Karlstad (1966) 1
WILLIAMS, F.M.	1938	"Chip classification screen" Paper Trade Journal 107 (1938) 14-15
WULTSCH, F; HOLTAPPELS, F.	1965	"Ermittlung der für das Sulfit- kochverfahren günstigsten Form der Hackschnitzel" Wochenblatt der Papierindustrie 9/3 (1965) 77 - 83
ZIEGER, F.	1960	"Technologie der Holzentbindung" Fachbuchverlag Leipzig (1960) 105 S
ZMP	1979	"Der Industrieholzmarkt im Frühherbst 1979" ZMP Holzmarktbericht (1979) Nr. 8, 14

10. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb.	Bezeichnung	Seite
1	Aufkommen von Industrie- und Industrierestholz 1970 - 1978 in der Bundesrepublik Deutschland	2
2	Verwendung von Industrie- und Industrierestholz 1970 - 1978 in der Bundesrepublik Deutschland	3
3	Modellhafte Ermittlung des Wertes eines Rohstoffes	13
4	Gliederung des Industrierestholzes und Aufarbeitung von Schwarten und Spreißeln	15
5	Entwicklung der Qualität der Sägerestholz- hackschnitzel	18
6	Querschnitt durch einen Refiner zur TMP-Herstellung	23
7	Bauprinzip eines Trommelhackers	39
8	Bauprinzip eines Scheibenhackers	40
9	Bauprinzip eines KOCKUMS-Profilspaners	43
10	Bauprinzip eines LINCK-Profilspaners	43
11	Kräfte diagramm bei der Hackung	45
12	Winkeldiagramm bei der Hackung	45
13	Zusammenhang zwischen Stauchschäden, Längen/ Dickenverhältnis, Schüttgewicht und Feinstoff- gehalt sowie Einlauf und Schneidenwinkel nach HARTLER (1971)	47
14	Konstruktion des Streifensiebs nach LUNDQUIST (1967)	80
15	Hackschnitzelfraktioniergerät	82
16	Konstruktion der Fraktioniersiebe	83
17	PALLMANN Schneidemühle Typ Ps 1 F 2	95
18	PALLMANN-Labor-Pralltellerermühle RET 18	95

Abb.	Bezeichnung	Seite
19	Wassergehalt des Hackschnitzelmateri- als von wald- und werksentrindetem Holz zum Verarbei- tungszeitpunkt im Vergleich mit den Ergebnis- sen der Werkseingangskontrolle der HAINDL Pa- pier GmbH in den Jahren 1978 und 1979	110
20	Abhängigkeit des Wassergehalts (F_u) des Hack- schnitzelmateri- als von der Lagerdauer in den Be- triebstypen I und II + III	112
21	Abhängigkeit des Wassergehalts (F_u) der Rest- holzhackschnitzel aus waldentrindetem Säge- holz von der jahreszeitbezogenen Lagerdauer (F)	116
22	Abhängigkeit des Wassergehalts (F_u) der Rest- holzhackschnitzel aus werksentrindetem Säge- holz von der jahreszeitbezogenen Lagerdauer (F)	117
23	Jahreszeitliche Entwicklung des Rindenanteils für in der Untersuchung berücksichtigten Be- triebsgruppen und die Gesamtlieferungen für die Jahre 1978 und 1979 anhand der Betriebsingangskontrollen	122
24	Einfluß des Einschlagszeitpunktes auf den Rin- denanteil (Ri_1) (Betriebstyp I)	125
25	Auswirkungen der Feuchtigkeit (F_u) des Holzes auf den Rindenanteil (Ri_1) (Betriebstyp II, zweite Versuchsreihe)	127
26	Auswirkungen der Astanzahl auf den Rindenanteil (Ri_1)	129
27	Weißgradproben aus den Betrieben 3, 6, 8, 9	138
28	Beziehung zwischen dem Rindenanteil (Ri_1) und dem Weißgrad (WG_H) des Hackschnitzelmateri- als	141
29	Die Bedeutung der Astanzahl (AST 1) und des Astdurchmesser (AST 2) auf den Weißgrad	144
30	Auswirkungen von Rotstreifigkeit Verf. 1 und sonstigen Mantelverfärbungen (Verf. 3) auf den Weißgrad des Hackschnitzelmateri- als (WG_H)	149

Abb.	Bezeichnung	Seite
31	Fraktionsverteilungen (F1 - F5) der durch Trommel (TH)- bzw. Scheibenhacker (SH) sowie LINCK (PSL)- bzw. KOCKUMS (PSK)- Profilspanern erzeugte Hackschnitzel	156
32	Einfluß der Jahrringbreite (J) auf die Fraktionsverteilung (F1 - F5)	160
33	Abhängigkeit der Fraktionsverteilung (F1 - F5) des mit Trommelhackern hergestellten Hackschnitzelmateriail vom Wassergehalt (F_u)	162
34	Unterschiede zwischen der Fraktion F2 und F3, hervorgerufen durch die Astigkeit	165
35	Auswirkungen der Rotstreifigkeit (Verf. 1) des Sägeholzes auf die Fraktionsverteilung des Hackschnitzelmateriails	167
36	Unterschiede zwischen den Hackschnitzeln erzeugt mit einem LINCK- bzw. KOCKUMS-Profilspaner	173
37	Gegenüberstellung der Hackschnitzelsortimente "Normal", "Schwarten" und "Spreißel"	179
38	Bedeutung einzelner Rundholzeigenschaften und verschiedener Faktoren der Bereitstellungs- und Einschnittsmodalitäten auf die Eigenschaften des Sägerestholzes	187
39	Auswirkungen der Feuchtigkeit (F_u) und des Rindenanteils (R_i) der Hackschnitzel auf den Weißgrad des TMP (WG_{TMP})	196
40	Prozentuale Darstellung von Hackschnitzelverfärbungen während eines Vierteljahres (KRUSE und PARAMESWARAN, 1979 b)	206
41	Zusammenhänge zwischen dem Wassergehalt (F_u) bzw. dem Weißgrad des Holzes (WG_H) und der Lagerdauer (LD)	207
42	Zusammenhänge zwischen Lagerdauer (LD) und Weißgrad der Hackschnitzel (WG_H)	211
43	Zusammenhänge zwischen dem Weißgrad des Holzes (WG_H) und dem des TMP (WG_{TMP})	211

11. TABELLENVERZEICHNIS

Tab.	Bezeichnung	Seite
1	Industrierestholzmarkt in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1978	4
2	Eigenschaften des Sägerestholzes und die sie beeinflussenden Faktoren	67
3	Entrindungs- und Hacktechniken in den untersuchten Betrieben	70
4	Errechnung des Stichprobenumfanges	88
5	Beschaffenheit des Rundholzes sowie Bereitstellungs- und Einschnittsmodalitäten bei den Einschnittsversuchen	91
6	Durchschnittliche Lagerdauer (LD) und Verarbeitungszeitpunkt (VAZ) in den Betriebstypen I - III	101
7	Vergleich der Rundholzeigenschaften in den drei Betrieben	102
8	Durchschnittliche Messerstandzeiten in den Trommel (TH)- und Scheibenhackern (SH) sowie den Profilspanern (PS) bei den Einschnittsversuchen	103
9	Wassergehalt des Hackschnitzelmateri als in den einzelnen Betrieben	105
10	Zusammenhänge zwischen Wassergehalt und Jahrringbreite	107
11	Verlauf der monatlichen Trocknungsraten	113
12	Entrindungsqualität und der Rindenanteil - lutro (R_{11}) und - atro (R_{12}) in den einzelnen Betrieben und Betriebstypen	120
13	Abhängigkeit des Rindenanteils (R_{11}) und der Entrindungsqualität (ENTR) vom Verarbeitungszeit (VAZ) für die Betriebe mit Werksentrindung	132
14	Abhängigkeit des Rindenanteils (R_{11}) von Frosteinwirkungen zum Zeitpunkt der Entrindung	132

Tab.	Bezeichnung	Seite
15	Einfluß der Lagerdauer (LD) auf den Rindenanteil (R_{I1}) des Hackschnitzelmaterials aus werksentrindetem Holz	133
16	Prüfung des Rindenanteils (R_{I1}) der Schwarten und Spreißel mit Hilfe des T-Test auf signifikante Unterschiede	135
17	Weißgrad des Hackschnitzelmaterials in den einzelnen Betrieben (in %)	139
18	Einfluß der Jahrringbreite auf den Weißgrad	142
19	Pilzliche Schädigungen des Hackschnitzelmaterials nach KRUSE und PARAMESWARAN (1979 a)	146
20	Durchschnittliche Verfärbungen des Hackschnitzelmaterials in den Betriebstypen I - III	147
21	Prüfung auf signifikante Unterschiede zwischen dem Weißgrad (WG_H) der Schwarten und Spreißel	151
22	Fraktionsverteilung ($F_1 - F_5$) in den Betriebstypen I - III	155
23	Fraktionsverteilung im Jahresdurchschnitt gemäß der Werkseingangskontrolle bei der HAINDL Papier GmbH für die im Rahmen der Untersuchung berücksichtigten Betriebe und Maschinentypen	158
24	Unterschiede zwischen den Fraktionsverteilungen von Hackschnitzeln erzeugt mit Trommel (TH)- bzw. Scheibenhackern (SH) in den Betriebstypen I und II	171
25	Unterschiede zwischen der Fraktionsverteilung der Hackschnitzel erzeugt mit KOCKUM (PSK)- bzw. LINCK-Profilspanern (PSL) ($F_1 - F_5$)	172
26	Entwicklung der Fraktionsverteilung ($F_1 - F_5$) bei den verschiedenen Hackertypen in Abhängigkeit von der Messerstandzeit	174
27	Fraktionsverteilung ($F_1 - F_5$) der Hackschnitzel aus Schwarten (Schw) und Spreißeln (Sp) bei Trommel (TH)- und Scheibenhackern (SH) sowie Prüfung auf signifikante Unterschiede zwischen den beiden Sortimenten	176

Tab.	Bezeichnung	Seite
28	Fraktionsverteilung des Hackschnitzelmaterials aus Schwarten (Schw) und Spreißeln (Sp) in Abhängigkeit von der Messerstandzeit (MSZ) in Tagen bei Trommelhackern	178
29	Auswirkungen des Frosts auf die Fraktionsverteilung bei Profilspanern	180
30	Faserlängen von Hackschnitzeln einzelner Fraktionen	182
31	Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften des TMP nach WELTE (1979)	192
32	Beziehung zwischen Wassergehalt (F_u), Rindenanteil (R_{il}) und Weißgrad (WG_H) der Hackschnitzel und dem Weißgrad des daraus erzeugten TMP (WG_{TMP})	195
33	Technologische Eigenschaften des Zellstoffs nach BURGHART (1979)	198
34	Veränderungen der Hackschnitzeleigenschaften bei der Lagerung	207
35	Veränderungen der Eigenschaften des TMP durch die Lagerung der Hackschnitzel	209

12. ANLAGEN

In den Anlagen verwendete Abkürzungen

$\bar{x}$	: Mittelwert
s	: Standardabweichungen
s^2	: Varianz
V	: Variationskoeffizient
I	: Betriebstype I
II	: Betriebstype II
III	: Betriebstype III
N	: Normal (Schwarten und Spreißel)
Schw	: Schwarten
Sp	: Spreißel
F_u	: Wassergehalt in %
Ri_l	: Rindenanteil - lutro (feucht)
Ri_a	: Rindenanteil - atro (trocken)
WG_H	: Weißgrad des Holzes
F1	: Fraktion $x > 45 \text{ mm}$
F2	: Fraktion $45 \text{ mm} > x > 8 \text{ mm}$
F3	: Fraktion $8 \text{ mm} > x > 7 \text{ mm}$
F4	: Fraktion $7 \text{ mm} > x > 3 \text{ mm}$
F5	: Fraktion $3 \text{ mm} > x$
Fx_l	: Fraktion x - lutro
Fx_a	: Fraktion x - atro

V E R S U C H S E R G E B N I S S E

Betriebstyp: I

Betriebs-Nr. 1

Maschinentyp: TH

Versuchs- reihe: 1			Erhebungs- datum: 22.02.78			Lagerdauer in Monaten: 2			Messerstandzeit in Tagen: 2		
Vari- ablen	Normal			Schwarten			Spreißel				
	$\bar{x}$ %	s^2 %	v %	$\bar{x}$ %	s^2 %	v %	$\bar{x}$ %	s^2 %	v %		
F _u	61,33	4,80	3,57	48,52	114,40	22,05	47,48	42,09	13,67		
R1 _l	4,38	2,70	37,51	3,53	3,83	55,51	3,19	4,05	63,03		
R1 _a	3,08	1,17	36,11	2,31	1,68	56,08	1,93	1,44	62,38		
WG _H	53,45	11,36	6,31	51,17	11,25	6,56	51,91	12,46	6,80		
F1 _l	0,61	0,49	114,90	1,31	1,36	84,83	0,48	0,14	78,06		
F2 _l	9,16	20,61	49,53	10,73	7,76	25,97	9,91	8,26	29,00		
F3 _l	76,97	32,66	7,42	78,45	8,12	3,63	76,06	5,72	3,15		
F4 _l	10,51	31,10	53,06	7,56	3,94	26,23	10,99	10,12	28,95		
F5 _l	2,75	0,86	33,74	1,94	0,15	19,70	2,56	0,49	27,22		
F1 _a	0,58	0,78	151,20	1,44	0,86	64,77	0,53	0,17	78,23		
F2 _a	9,37	16,51	43,36	11,32	4,83	19,42	10,09	4,44	20,92		
F3 _a	76,60	22,81	6,23	77,85	4,45	2,71	75,85	5,31	3,04		
F4 _a	10,80	24,72	46,04	7,37	7,30	36,68	10,94	9,89	28,74		
F5 _a	2,67	0,64	30,25	2,03	0,17	20,13	2,58	0,51	27,60		

Versuchs- reihe: 2			Erhebungs- datum: 30.01.79			Lagerdauer in Monaten: 10			Messerstandzeit in Tagen: 0		
F _u	40,99	37,51	14,94	45,85	45,96	14,78	45,79	49,16	15,31		
R1 _l	0,80	1,19	136,10	1,00	2,43	156,00	0,17	0,10	188,90		
R1 _a	0,61	0,69	136,00	0,68	1,12	155,70	0,10	0,04	198,30		
WG _H	47,69	5,17	4,77	47,07	14,00	7,95	48,07	4,16	4,24		
F1 _l	0,89	0,77	98,52	0,95	1,49	127,90	0,31	0,22	154,20		
F2 _l	16,80	30,76	33,02	16,00	31,16	34,90	18,08	15,90	22,06		
F3 _l	71,67	31,15	7,78	72,67	34,31	8,06	67,76	14,02	5,53		
F4 _l	8,51	1,80	15,79	8,26	3,69	23,26	11,15	4,62	19,27		
F5 _l	2,13	0,21	21,44	2,12	0,40	29,95	2,71	0,58	28,23		
F1 _a	0,22	0,75	94,17	0,99	1,63	129,00	0,31	0,22	152,90		
F2 _a	17,34	33,11	33,19	17,01	37,20	36,87	19,09	16,28	21,14		
F3 _a	71,75	34,22	8,15	72,37	40,48	8,79	67,25	14,27	5,62		
F4 _a	8,11	1,80	16,54	7,77	3,44	23,87	10,68	3,97	18,65		
F5 _a	1,89	0,17	21,99	1,86	0,31	29,65	2,68	0,63	29,55		

VERSUCHSERGEBNISSE

Betriebstyp: I Betriebs-Nr.: 2 Maschinentyp: SH

Versuchsreihe: 1		Erhebungsdatum: 13.03.78		Lagerdauer in Monaten: 6		Messerstandzeit in Tagen: 14			
Variablen	Normal			Schwarten			Spreißel		
	$\bar{x}$ %	s^2 %	V %	$\bar{x}$ %	s^2 %	V %	$\bar{x}$ %	s^2 %	V %
F _u	45,23	79,45	19,71	43,67	156,20	28,62	36,47	123,80	30,51
R _{1l}	6,13	31,29	91,30	7,62	42,63	85,61	7,43	35,60	80,28
R _{1a}	3,91	12,57	90,68	5,52	23,89	88,54	5,72	22,10	82,26
WG _H	54,79	3,87	3,59	49,98	30,12	10,98	50,37	24,76	9,88
F _{1l}	2,20	1,74	60,02	2,69	3,49	69,35	3,02	10,70	109,40
F _{2l}	16,68	34,25	35,09	11,01	22,23	42,81	13,23	27,37	39,50
F _{3l}	74,07	47,44	9,30	78,76	25,27	6,38	75,47	62,89	10,51
F _{4l}	5,43	0,98	18,25	5,65	1,57	22,19	5,99	5,26	38,27
F _{5l}	1,62	0,13	22,54	1,89	0,48	36,48	2,29	1,47	52,98
F _{1a}	2,64	1,84	51,45	2,81	2,51	56,30	3,27	10,01	96,67
F _{2a}	16,53	34,31	35,43	11,37	17,99	37,31	13,79	36,11	43,57
F _{3a}	74,05	54,50	9,97	78,59	13,86	4,74	77,80	83,07	11,71
F _{4a}	5,25	1,16	20,49	5,34	2,07	26,95	3,74	5,11	60,51
F _{5a}	1,53	0,13	23,09	1,89	0,39	33,02	1,39	1,32	82,46

Versuchsreihe: 2		Erhebungsdatum: 21.11.78		Lagerdauer in Monaten: 2		Messerstandzeit in Tagen: 1			
F _u	47,29	64,41	16,97	54,18	12,76	6,59	54,95	8,87	5,42
R _{1l}	2,73	5,02	82,04	3,67	15,37	106,70	4,12	10,83	80,32
R _{1a}	2,21	3,38	83,10	3,44	12,47	102,60	3,81	8,45	76,34
WG _H	51,62	13,09	7,01	53,09	11,32	6,34	52,55	3,85	3,73
F _{1l}	1,17	1,34	98,64	1,12	1,61	112,80	1,78	1,93	78,05
F _{2l}	11,74	16,65	34,77	10,17	11,46	33,25	13,41	12,45	26,23
F _{3l}	78,52	23,21	6,14	80,70	21,78	5,78	77,08	28,47	6,92
F _{4l}	6,78	4,71	32,02	6,20	4,26	33,22	6,10	3,72	31,62
F _{5l}	1,79	0,41	36,98	1,79	0,36	33,50	1,64	0,28	32,30
F _{1a}	1,28	1,38	91,63	1,13	1,54	109,70	1,80	1,68	92,00
F _{2a}	12,01	19,13	36,41	10,68	12,29	32,84	14,35	20,03	31,19
F _{3a}	78,01	25,88	6,52	79,76	22,12	5,90	75,79	39,62	8,29
F _{4a}	6,88	4,87	32,07	6,57	4,91	33,73	6,25	3,78	31,14
F _{5a}	1,81	0,40	34,88	1,87	0,40	33,93	1,64	0,22	28,56

V E R S U C H S E R G E B N I S S E

Betriebsart: I Betriebs-Nr. 3 Maschinentyp: TH

Versuchs- reihe: 2	Erhebungs- datum: 14.03.79	Lagerdauer in Monaten: 5	Messerstandzeit in Tagen: 0						
Vari- ablen	Normal			Schwarten			Spreißel		
	$\bar{x}$ %	s^2 %	V %	$\bar{x}$ %	s^2 %	V %	$\bar{x}$ %	s^2 %	V %
F _u	59,90	23,81	8,14	46,42	97,36	21,26	49,06	24,36	10,06
R _{1l}	26,26	273,50	62,70	16,46	222,60	90,61	11,46	66,25	71,02
R _{1a}	24,81	327,00	72,88	11,44	134,70	101,40	6,93	22,12	67,87
WC _H	38,00	32,30	14,96	41,31	28,62	12,95	45,14	11,20	7,41
F _{1l}	1,72	1,99	82,18	2,42	1,88	56,61	0,70	0,31	80,00
F _{2l}	25,44	22,47	18,63	26,82	81,18	33,59	29,97	21,40	15,44
F _{3l}	63,43	18,77	6,83	63,76	83,75	14,36	60,12	18,67	7,19
F _{4l}	7,08	3,16	26,11	5,29	1,66	24,36	7,34	4,15	27,73
F _{5l}	2,32	0,49	21,09	1,72	0,29	31,47	1,87	0,59	40,89
F _{1a}	1,84	2,52	86,22	2,48	2,12	58,71	0,79	0,49	86,60
F _{2a}	25,99	23,20	18,53	27,26	92,52	36,29	30,28	24,93	16,49
F _{3a}	62,83	21,55	7,39	63,61	96,58	15,45	59,80	23,75	8,15
F _{4a}	7,02	2,98	24,60	5,06	1,67	25,54	7,30	3,66	16,21
F _{5a}	2,31	0,40	27,34	1,59	0,29	33,87	1,82	0,47	37,28

V E R S U C H S E R G E B N I S S E

Betriebstyp: II Betriebs-Nr.: 4 Maschinentyp: TH

Versuchs- reihe: 1				Erhebungs- datum: 23.05.78			Lagerdauer in Monaten: 1			Messerstandzeit in Tagen: 1		
Vari- ablen	Normal			Schwarten			Spreießl					
	$\bar{x}$ %	s^2 %	V %	$\bar{x}$ %	s^2 %	V %	$\bar{x}$ %	s^2 %	V %			
F _u	59,17	3,11	2,98	57,91	3,96	3,44	58,51	2,40	2,65			
R1 _l	0,52	0,46	129,90	0,16	0,06	150,40	0,09	0,02	141,70			
R1 _a	0,44	0,39	141,60	0,15	0,04	142,10	0,09	0,02	141,70			
WG _H	62,56	1,36	2,04	63,46	0,49	1,10	63,24	0,47	1,09			
F1 _l	1,94	1,05	52,84	0,64	0,34	91,16	1,53	0,42	42,47			
F2 _l	6,69	3,20	26,72	5,19	1,11	20,31	6,85	3,77	28,31			
F3 _l	80,09	10,84	4,11	83,61	5,91	3,14	79,10	4,39	2,65			
F4 _l	8,17	1,60	15,45	7,15	0,61	10,93	9,08	0,75	9,57			
F5 _l	3,11	0,97	31,57	3,41	1,23	32,52	3,44	0,58	22,18			
F1 _a	2,03	0,95	48,15	0,67	0,34	85,80	1,64	0,60	47,48			
F2 _a	7,17	3,41	25,77	5,49	2,20	27,05	7,01	3,61	27,10			
F3 _a	79,09	12,08	4,40	82,55	9,40	3,72	77,94	4,85	2,83			
F4 _a	8,44	1,75	15,65	7,53	0,59	10,17	9,62	0,94	10,09			
F5 _a	3,27	1,14	32,62	3,76	1,65	34,12	3,79	0,84	24,10			
Versuchs- reihe: 2				Erhebungs- datum: 06.03.79			Lagerdauer in Monaten: 2			Messerstandzeit in Tagen: 0,5		
F _u	53,65	4,72	4,05	56,26	7,78	4,96	56,60	1,67	2,29			
R1 _l	2,68	11,20	124,90	1,15	0,79	77,06	0,47	0,19	93,39			
R1 _a	1,72	4,59	124,40	0,82	0,26	62,08	0,38	0,14	97,40			
WG _H	57,34	14,70	6,69	62,29	3,44	2,98	61,81	6,53	4,13			
F1 _l	3,59	4,18	57,01	2,41	2,27	62,64	1,53	1,96	91,53			
F2 _l	11,00	5,23	20,81	12,77	2,39	12,10	10,47	4,58	20,44			
F3 _l	75,98	8,66	4,09	75,22	4,73	2,89	75,79	9,83	4,14			
F4 _l	6,66	0,79	13,38	6,61	2,11	22,00	9,15	3,41	20,18			
F5 _l	2,78	0,54	26,59	3,00	1,19	36,36	3,06	0,38	20,10			
F1 _a	3,70	4,18	55,30	2,55	2,79	65,48	1,68	2,53	94,51			
F2 _a	11,52	6,34	21,86	13,50	2,46	11,62	11,07	4,72	19,64			
F3 _a	75,24	10,58	4,32	74,30	5,20	3,07	74,65	10,68	4,37			
F4 _a	6,80	0,77	12,89	6,67	2,15	21,98	9,47	3,68	20,25			
F5 _a	2,74	0,54	26,83	2,98	1,14	35,90	3,12	0,38	19,74			

VERSUCHSERGEBNISSE

Betriebstyp: II Betriebs.-Nr. 5 Maschinentyp: TH

Versuchs- Erhebungs- Lagerdauer Messerstandzeit
reihe: 1 datum: 12.07.78 in Monaten: 6 in Tagen: 0,5

Variablen	Normal			Schwarten			Spreißel		
	$\bar{x}$ %	s^2 %	v %	$\bar{x}$ %	s^2 %	v %	$\bar{x}$ %	s^2 %	v %
F _u	55,30	14,12	6,80	54,98	11,74	6,23	50,71	11,64	6,73
R1 ₁	0,15	0,04	131,30	0,02	0,01	311,90	0,22	0,16	180,50
R1 _a	0,14	0,03	130,80	0,02	0,01	332,20	0,20	3,46	197,30
WG _H	63,65	1,60	1,99	62,64	5,68	3,81	62,53	0,07	2,98
F1 ₁	0,15	0,07	178,70	0,11	0,11	303,00	0,22	1,29	121,70
F2 ₁	3,37	0,99	29,54	3,55	3,67	52,37	4,24	1,90	26,75
F3 ₁	87,31	1,87	1,57	85,86	5,47	2,69	87,71	0,92	4,57
F4 ₁	8,15	0,93	11,80	8,55	1,82	15,77	7,16	0,02	13,36
F5 ₁	1,01	0,04	18,85	0,82	0,05	26,82	0,67	0,10	21,02
F1 _a	0,16	0,09	178,40	0,11	0,11	294,80	0,25	1,73	127,50
F2 _a	3,64	1,10	28,76	4,06	4,81	53,95	4,55	2,27	28,39
F3 _a	86,70	1,57	1,44	86,28	6,70	3,00	86,94	2,27	1,74
F4 _a	8,45	0,91	11,29	8,69	2,09	16,63	7,55	1,32	15,22
F5 _a	1,05	0,04	18,69	0,86	0,05	26,26	0,72	0,03	22,22

Versuchs- Erhebungs- Lagerdauer Messerstandzeit
reihe: 2 datum: 30.03.79 in Monaten: 3 in Tagen: 0,5

F _u	60,11	12,96	5,99	59,84	3,02	2,90	60,18	5,08	3,75
R1 ₁	1,00	0,39	62,72	0,87	0,30	62,74	1,51	0,84	60,78
R1 _a	0,59	0,14	62,82	0,55	0,19	79,15	1,03	0,68	80,00
WG _H	57,33	1,14	1,86	57,09	1,53	2,16	55,30	2,03	2,58
F1 ₁	0,15	0,10	202,10	0,30	0,45	226,40	0,32	0,15	121,50
F2 ₁	5,45	2,91	31,34	6,13	3,07	28,58	5,35	2,20	27,77
F3 ₁	84,80	4,45	2,49	85,60	4,26	2,41	84,84	4,70	2,56
F4 ₁	8,10	2,55	19,73	6,81	1,14	15,69	8,02	1,74	16,43
F5 ₁	1,51	0,17	24,75	1,17	0,08	23,53	1,47	0,09	20,76
F1 _a	0,17	0,11	195,90	0,31	0,49	223,70	0,30	0,12	116,60
F2 _a	5,58	2,96	30,82	6,39	3,06	27,37	5,60	2,58	28,69
F3 _a	84,34	4,55	2,53	84,87	4,48	2,50	84,12	5,44	2,77
F4 _a	8,36	2,80	20,05	7,17	1,29	15,82	0,43	2,02	16,84
F5 _a	1,56	0,14	23,89	1,25	0,08	23,01	1,55	0,09	20,01

V E R S U C H S E R G E B N I S S E

Betriebstyp: II Betriebs-Nr.: 6 Maschinentyp: SH

Versuchs- reihe: 1	Erhebungs- datum: 11.08.78			Lagerdauer in Monaten: 3 ¹⁾			Messerstandzeit in Tagen: 5		
Vari- abeln	Normal			Schwarten			Spreiße		
	$\bar{x}$ %	s^2 %	V %	$\bar{x}$ %	s^2 %	V %	$\bar{x}$ %	s^2 %	V %
F _u	28,37	7,91	9,91	30,23	13,30	12,00	29,98	15,58	13,17
R _{1l}	0,19	0,04	108,61	0,10	0,01	17,67	0,10	0,01	17,67
R _{1a}	0,19	0,04	109,60	0,10	0,01	17,67	0,10	0,01	17,67
WG _H	55,04	5,30	4,19	55,47	5,65	4,29	56,85	2,45	2,75
F _{1l}	3,02	5,33	76,38	2,94	3,70	65,53	2,49	2,51	63,54
F _{2l}	9,64	7,04	27,52	9,53	12,77	37,51	9,01	3,66	21,26
F _{3l}	77,88	9,26	3,91	81,26	18,74	5,33	80,49	7,81	3,47
F _{4l}	7,59	5,73	31,54	5,07	1,50	24,18	6,49	2,26	23,19
F _{5l}	1,87	0,63	42,50	1,21	0,72	70,25	1,53	0,37	39,73
F _{1a}	3,12	55,27	75,74	3,00	4,68	72,04	2,52	2,67	64,71
F _{2a}	9,78	7,26	27,55	9,74	14,32	38,84	9,13	4,02	21,98
F _{3a}	77,53	9,56	3,99	80,77	26,39	6,63	80,13	9,30	3,81
F _{4a}	7,71	6,01	31,77	5,24	1,69	24,80	6,65	2,23	22,45
F _{5a}	1,86	0,60	41,63	1,25	0,83	73,15	1,56	0,34	37,66

Versuchs- reihe: 2 ²⁾	Erhebungs- datum: 15.01.79			Lagerdauer in Monaten: 1			Messerstandzeit in Tagen: 15		
F _u	57,02	7,72	4,87	57,49	7,87	4,88	58,43	0,50	1,21
R _{1l}	1,10	0,70	75,91	1,94	3,49	95,28	1,23	0,40	51,68
R _{1a}	0,80	0,40	79,29	1,34	1,57	93,28	0,77	0,13	47,25
WG _H	57,58	1,49	2,12	56,83	7,33	4,76	57,08	1,70	2,28
F _{1l}	1,98	3,57	95,59	2,88	6,55	88,71	2,29	5,65	104,00
F _{2l}	8,06	3,73	23,97	7,49	3,30	24,26	7,38	5,76	32,49
F _{3l}	82,07	10,65	3,98	83,45	10,09	3,81	82,04	14,08	4,57
F _{4l}	6,26	2,39	24,73	4,96	2,39	31,15	6,46	1,75	20,54
F _{5l}	1,64	0,40	38,47	1,28	0,20	37,29	1,83	0,31	30,31
F _{1a}	2,05	3,90	96,37	2,75	5,88	88,01	2,30	6,05	107,10
F _{2a}	8,15	3,59	23,24	7,58	3,51	24,71	7,58	5,96	32,20
F _{3a}	81,50	10,52	3,98	83,33	9,94	3,78	81,30	14,18	4,63
F _{4a}	6,55	2,53	24,28	5,09	2,59	31,64	6,82	1,91	20,27
F _{5a}	1,75	0,42	37,01	1,25	0,23	38,71	2,01	0,36	0,17

1) Nach Entrindung ein Monat im Werk gelagert.

2) Bei der Entrindung und dem Einschnitt war das Holz gefroren.

V E R S U C H S E R G E B N I S S E

Betriebstyp: III

Maschinentyp: LPS

Betriebs-Nr.: 7 Versuchsreihe: 1				Betriebs-Nr.: 7 Versuchsreihe: 2			
Erhebungsdatum: 10.04.78				Erhebungsdatum: 12.03.79			
Lagerdauer in Monaten: 3				Lagerdauer in Monaten: 3			
Messerstandzeit in Tagen: 1				Messerstandzeit in Tagen: 1			
	Profilspanner			Profilspanner			
	$\bar{x}$ %	s %	V %	$\bar{x}$ %	s %	V %	
F _u	52,63	56,06	14,23	60,67	8,45	4,79	
R _{1l}	0,19	0,06	126,80	0,87	0,48	79,56	
R _{1a}	0,16	0,04	127,30	0,54	0,17	75,19	
WG _H	57,83	5,42	4,03	55,22	2,35	3,32	
F _{1l}	-	-	-	0,06	0,04	381,50	
F _{2l}	3,20	1,80	41,91	5,90	2,47	26,64	
F _{3l}	91,65	3,18	1,95	89,74	3,85	2,19	
F _{4l}	3,64	1,04	28,00	2,91	0,76	29,97	
F _{5l}	1,51	0,47	45,56	1,40	0,18	30,08	
F _{1a}	-	-	-	0,06	0,05	366,00	
F _{2a}	4,15	2,50	38,10	6,90	3,73	28,01	
F _{3a}	90,21	1,81	1,49	88,65	5,35	2,61	
F _{4a}	3,95	0,64	20,27	3,04	0,91	31,24	
F _{5a}	1,70	0,42	38,04	1,35	0,14	27,44	
Betriebs-Nr.: 8 Versuchsreihe: 1				Betriebs-Nr.: 8 Versuchsreihe: 2			
Erhebungsdatum: 20.04.78				Erhebungsdatum: 15.02.79			
Lagerdauer in Monaten: 4				Lagerdauer in Monaten: 1			
Messerstandzeit in Tagen: 2				Messerstandzeit in Tagen: 2			
F _u	52,10	44,07	12,74	62,43	4,95	3,56	
R _{1l}	0,30	0,10	102,90	0,99	1,04	103,10	
R _{1a}	0,20	0,04	104,30	0,60	0,36	99,91	
WG _H	57,64	12,63	6,17	55,31	1,73	2,38	
F _{1l}	-	-	-	0,08	0,07	343,00	
F _{2l}	1,12	0,39	55,58	3,31	2,35	49,06	
F _{3l}	93,44	2,77	1,78	91,18	4,17	2,24	
F _{4l}	4,18	1,31	27,39	4,37	1,49	27,91	
F _{5l}	1,26	0,09	24,51	1,25	0,13	28,30	
F _{1a}	-	-	-	0,08	0,08	349,30	
F _{2a}	1,54	0,90	61,72	3,45	2,60	46,81	
F _{3a}	92,53	4,79	2,36	90,73	4,68	2,39	
F _{4a}	4,54	1,86	30,10	4,49	1,52	27,45	
F _{5a}	1,40	0,19	30,83	1,26	0,12	27,54	

V E R S U C H S E R G E B N I S S E

Betriebstyp: III

Maschinentyp: LPS

Betriebs-Nr.: 9 Versuchsreihe: 1
 Erhebungsdatum: 04.07.78
 Lagerdauer in Monaten: 3
 Messerstandzeit in Tagen: 2

Betriebs-Nr.: 9 Versuchsreihe: 2
 Erhebungsdatum: 30.11.78
 Lagerdauer in Monaten: 1
 Messerstandzeit in Tagen: 1

	Profilspaner			Profilspaner		
	$\bar{x}$ %	s %	V %	$\bar{x}$ %	s %	V %
F _u	50,97	3,25	3,54	59,49	5,11	3,80
R _{1l}	0,41	0,35	146,40	0,46	0,18	92,23
R _{1a}	0,28	0,17	146,00	0,44	0,17	93,71
WG _H	62,66	0,98	1,58	54,33	1,69	2,88
F _{1l}	0,06	0,01	175,51	-	-	-
F _{2l}	1,98	0,31	28,29	2,89	1,38	40,61
F _{3l}	94,33	1,09	1,11	91,71	5,67	2,60
F _{4l}	2,63	0,41	24,42	4,48	1,72	29,30
F _{5l}	1,01	8,09	29,53	0,93	0,28	57,62
F _{1a}	0,08	0,02	180,40	-	-	-
F _{2a}	2,41	0,52	29,75	3,27	2,00	43,23
F _{3a}	93,63	1,25	1,19	91,22	6,63	2,82
F _{4a}	2,81	0,45	23,93	4,59	1,71	28,49
F _{5a}	1,07	0,09	28,04	0,91	0,28	57,47

Betriebs-Nr.: 10 Versuchsreihe: 1
 Erhebungsdatum: 27.07.79
 Lagerdauer in Monaten: 4
 Messerstandzeit in Tagen: 1,5

Betriebs-Nr.: 10 Versuchsreihe: 2
 Erhebungsdatum: 28.03.79
 Lagerdauer in Monaten: 5
 Messerstandzeit in Tagen: 1

F _u	51,61	9,29	5,90	54,42	1,21	2,02
R _{1l}	0,16	0,06	145,40	0,07	0,01	100,40
R _{1a}	0,13	0,04	163,80	-	-	-
WG _H	59,20	10,39	5,44	59,49	1,72	2,33
F _{1l}	0,01	0,01	344,10	-	-	-
F _{2l}	0,23	0,06	106,50	0,24	0,01	46,96
F _{3l}	94,87	2,72	1,74	93,21	0,79	0,95
F _{4l}	3,62	1,10	28,96	4,83	0,22	9,65
F _{5l}	1,27	0,29	42,19	1,73	0,24	28,64
F _{1a}	0,01	0,01	362,40	-	-	-
F _{2a}	0,26	0,07	103,30	0,27	0,01	43,14
F _{3a}	94,53	2,84	1,78	92,85	0,95	1,05
F _{4a}	3,86	1,17	28,02	5,02	0,26	10,22
F _{5a}	1,34	0,28	39,65	1,85	0,28	28,53

Signifikanzniveaus des KOLMOGORIV-SMIRNOV-Tests zur Prüfung der einzelnen Variablen auf Normalverteilung

Versuchsstreihe 1978															
Betr. Nr.	Prob. Nr.	F _u	R ₁	R _{1a}	WG _{II}	Fraktionsverteilung- feucht					Fraktionsverteilung- trocken				
						F ₁	F ₂ ₁	F ₃ ₁	F ₄ ₁	F ₅ ₁	F ₁ _a	F ₂ _a	F ₃ _a	F ₄ _a	F ₅ _a
1	N	0,79	0,85	0,86	0,96	0,69	0,99	0,78	0,20	0,68	0,61	0,90	0,88	0,30	0,87
1	Schw	0,75	0,81	0,98	0,99	0,96	0,86	0,96	0,82	0,74	0,92	0,97	0,90	0,83	0,81
1	Sp	0,99	0,69	0,73	0,76	0,96	0,62	0,98	0,99	0,96	0,95	0,63	0,99	0,99	0,99
2	N	0,92	0,28	0,12	1,00	0,73	0,95	0,87	0,73	0,70	0,52	0,64	0,47	0,75	0,95
2	Schw	0,69	0,73	0,70	0,95	0,51	0,97	1,00	0,98	0,95	0,95	1,00	0,96	0,93	0,98
2	Sp	0,43	0,81	0,59	0,50	0,97	0,66	0,89	0,80	0,73	0,79	0,58	0,96	0,86	0,67
4	N	0,39	0,20	0,38	0,36	0,96	0,91	0,94	0,70	0,26	0,99	0,88	0,99	0,74	0,18
4	Schw	0,52	0,45	0,26	0,98	0,94	0,87	0,91	0,98	0,94	1,00	0,52	0,99	0,95	0,86
4	Sp	0,89	0,43	0,43	0,99	0,96	0,91	0,93	0,91	0,98	0,97	0,88	1,00	0,93	0,95
5	N	0,27	0,03	0,04	0,95	0,01	0,70	0,76	0,85	0,94	0,01	0,96	0,70	0,83	0,75
5	Schw	0,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,28	0,88	1,00	0,98	0,00	0,21	0,66	0,70	0,99
5	Sp	0,94	0,01	0,01	0,99	0,16	0,59	0,22	0,33	0,92	0,12	0,21	0,26	0,33	0,62
6	N	0,68	0,00	0,00	0,70	0,54	0,96	0,77	0,60	0,91	0,64	0,94	0,98	0,59	0,99
6	Schw	0,49	0,00	0,00	0,34	0,57	0,37	0,40	0,94	0,11	0,63	0,28	0,20	0,99	0,04
6	Sp	0,77	0,00	0,00	0,99	0,87	0,80	0,92	0,84	0,48	0,75	0,65	0,98	0,69	0,68
7	Ps	0,66	0,01	0,28	0,92		0,91	0,88	0,74	0,57		0,91	1,00	0,98	0,66
8	Ps	0,98	0,04	0,04	0,94		0,50	0,89	0,98	0,54		0,62	0,45	0,78	0,60
9	Ps	0,99	0,09	0,06	0,94	0,01	0,92	0,77	0,87	0,90	0,00	0,81	0,74	0,89	0,93
11	Ps	0,36	0,00		0,57	0,00	0,02	0,89	0,80	0,52	0,00	0,03	0,99	0,98	0,40

Signifikanzniveaus des KOLMOGOROV-SMIRNOV-Tests zur Prüfung
der einzelnen Variablen auf Normalverteilung

Versuchsreihe 1978/1979															
Betr. Nr.	Prob. Nr.	F _u	R _l	R _a	WG _H	Fraktionsverteilung- feucht					Fraktionsverteilung- trocken				
						F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
1	N	0,99	0,01	0,05	0,85	0,51	0,47	0,97	0,72	0,94	0,60	0,51	0,98	0,92	0,67
1	Schw	0,38	0,01	0,01	0,98	0,01	0,79	0,33	0,96	0,98	0,01	0,87	0,51	0,99	0,95
1	Sp	0,25	0,00	0,00	0,48	0,01	0,97	0,76	0,97	0,54	0,01	0,99	0,96	0,78	0,35
2	N	0,68	0,79	0,78	0,63	0,46	0,61	0,99	0,63	0,50	0,62	0,77	0,99	0,75	0,40
2	Schw	0,66	0,16	0,39	0,61	0,14	0,67	0,67	0,81	0,73	0,17	0,82	0,80	0,64	0,74
2	Sp	0,92	0,90	0,85	0,93	0,50	0,82	0,94	0,97	0,96	0,77	0,37	0,93	0,82	0,88
3	N	0,31	0,59	0,89	0,79	0,40	0,38	0,95	0,98	0,78	0,24	0,88	0,82	0,99	0,98
3	Schw	0,14	0,45	0,17	0,32	0,68	0,89	0,75	0,98	0,94	0,63	0,88	0,43	0,81	0,84
3	Sp	0,49	0,74	0,96	0,97	0,77	0,98	0,99	0,91	0,48	0,58	0,35	0,88	0,97	0,67
4	N	0,74	0,03	0,03	0,99	0,90	0,87	0,97	0,56	0,99	0,48	0,94	0,90	0,77	0,99
4	Schw	0,81	0,25	0,71	0,98	0,98	0,98	0,97	0,91	0,46	0,65	0,88	0,83	0,92	0,47
4	Sp	0,70	0,60	0,48	0,21	0,55	0,88	0,99	0,45	0,62	0,55	0,90	0,77	0,51	0,64
5	N	0,89	0,58	0,88	0,58	0,00	0,82	0,62	0,39	0,82	0,00	0,42	0,92	0,65	0,71
5	Schw	0,46	0,18	0,08	0,09	0,00	0,81	0,78	0,73	0,92	0,00	1,00	0,95	0,77	0,78
5	Sp	0,75	0,77	0,65	0,91	0,16	0,80	0,98	0,56	0,57	0,16	0,82	0,67	0,52	0,89
6	N	0,75	0,13	0,13	0,94	0,48	0,41	0,81	0,36	0,77	0,22	0,51	0,75	0,46	0,72
6	Schw	0,78	0,08	0,14	0,29	0,16	0,95	0,90	0,31	0,36	0,17	0,96	0,36	0,32	0,50
6	Sp	0,73	0,87	0,99	0,34	0,35	0,60	0,58	0,95	0,99	0,27	0,68	0,49	0,92	0,98
7	Ps	0,94	0,02	0,01	0,83	0,00	0,55	0,91	0,83	0,72	0,00	0,83	0,85	0,44	0,77
8	Ps	0,84	0,02	0,03	0,83	0,00	0,81	0,57	0,65	0,72	0,00	0,71	0,29	0,61	0,79
9	Ps	0,66	0,65	0,59	0,87		0,64	0,37	0,35	0,01		0,52	0,28	0,38	0,02
11	Ps	0,23	0,06		0,37		0,43	0,78	0,99	0,82		0,59	0,71	0,93	0,77

Überprüfung der Unterschiede zwischen dem Rindenanteil (Ri) bzw. der Fraktionsverteilung (F1 - F5) -feucht und -trocken mit Hilfe der Signifikanzniveaus nach dem T- bzw. Wilcoxon-Test (W1)

Versuchsreihe 1978									
Betr. Nr.	Prob. art-	R ₁ /R ₁ a (T)	R ₁ /R ₁ a (W1)	F ₁ /F ₁ a (T)	F ₁ /F ₁ a (W1)	F ₂ /F ₂ a (T)	F ₃ /F ₃ a (T)	F ₄ /F ₄ a (T)	F ₅ /F ₅ a (T)
1	N	0,00	0,00	0,13	0,14	0,44	0,84	0,47	0,10
1	Schw	0,00	0,00	0,15	0,14	0,67	0,98	0,91	0,22
1	Sp	0,00	0,00	0,18	0,14	0,58	0,00	0,27	0,15
2	N	0,00	0,00	0,36	0,29	0,12	0,17	0,93	1,00
2	Schw	0,00	0,00	0,66	0,65	0,10	0,97	0,13	0,25
2	Sp	0,00	0,00	0,23	0,26	0,01	0,02	0,00	0,00
4	N	0,05	0,04	0,09	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
4	Schw	0,44	0,29	0,44	0,67	0,15	0,00	0,00	0,00
4	Sp	1,00	1,00	0,16	0,24	0,08	0,00	0,00	0,00
5	N	0,33	0,47	0,26	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00
5	Schw	0,33	0,32	0,56	0,71	0,00	0,00	0,25	0,00
5	Sp	0,11	0,09	0,06	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
6	N	0,33	0,27	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00	0,45
6	Schw	1,00	1,00	0,60	0,24	0,20	0,21	0,04	0,08
6	Sp	1,00	1,00	0,60	0,12	0,10	0,06	0,04	0,19
7	Ps	0,38	0,74	-	-	0,00	0,11	0,98	0,65
8	Ps	0,00	0,00	-	-	0,02	0,00	0,00	0,00
9	Ps	0,00	0,00	0,05	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
10	Ps	0,00	0,04	0,15	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00

sign = 0,1: es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten der Proben

Überprüfung der Unterschiede zwischen dem Rindenanteil (R1) bzw. der Fraktionsverteilung (F1 - F5) -feucht und -trocken mit Hilfe der Signifikanzniveaus nach dem T- bzw. Wilcoxon- (W1) 2-sample-Tests

Versuchsreihe 1978/79										
Nr.	Prob. art	R1/R1a (T)	R1/R1a (W1)	F1/F1a (T)	F1/F1a (W1)	F2/F2a (T)	F2/F2a (W1)	F3/F3a (T)	F3/F3a (W1)	F5/F5a (T)
1	N	0,00	0,00	0,50	0,11	0,00	0,46	0,00	0,00	0,00
1	Schw	0,00	0,00	0,61	0,26	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00
1	Sp	0,01	0,01	0,97	0,70	0,00	0,01	0,00	0,00	0,15
2	N	0,01	0,01	0,02	0,04	0,20	0,03	0,05	0,43	0,00
2	Schw	0,06	0,30	0,83	0,33	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
2	Sp	0,05	0,21	0,69	0,35	0,00	0,00	0,00	0,94	0,00
3	N	0,23	0,09	0,05	0,10	0,04	0,02	0,35	0,73	0,00
3	Schw	0,00	0,00	0,09	0,41	0,23	0,74	0,00	0,00	0,00
3	Sp	0,00	0,00	0,03	0,01	0,20	0,20	0,46	0,08	0,00
4	N	0,00	0,00	0,06	0,07	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00
4	Schw	0,00	0,00	0,03	0,06	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
4	Sp	0,00	0,00	0,05	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	N	0,00	0,00	0,11	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
5	Schw	0,00	0,00	0,10	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	Sp	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	N	0,00	0,00	0,14	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	Schw	0,00	0,00	0,02	0,01	0,34	0,32	0,00	0,00	0,00
6	Sp	0,00	0,00	0,68	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	Ps	0,00	0,00	0,37	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	Ps	0,00	0,00	0,68	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	Ps	0,63	0,57	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	Ps	0,00	0,00	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

sign = 0,1: es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten der Proben

Prüfung der Unterschiede zwischen den Probearten "Normal".
 "Schwarten", "Spreißel" in bezug auf die Eigenschaften
 Wassergehalt, Rindenanteil, Weißgrad mit Hilfe der Signi-
 fikanzniveaus des T- (T) und Wilcoxon- (Wi) 2-sample-Tests

Betr. Nr.	Prob. art	F _u (T)		Ri ₁ (Wi)		Ri _a (Wi)		WG _H (T)	
		Schw	Sp	Schw	Sp	Schw	Sp	Schw	Sp
1	N	0,00	0,00	0,36	0,10	0,36	0,10	0,12	0,29
	Schw	-	0,78	-	0,87	-	0,61	-	0,61
2	N	0,66	0,01	0,79	0,53	0,53	0,30	0,01	0,00
	Schw	-	0,06	-	1,00	-	0,98	-	0,81
4	N	0,11	0,39	0,31	0,36	0,51	0,59	0,04	0,13
	Schw	-	0,48	-	1,00	-	1,00	-	0,54
5	N	0,10	0,00	0,00	0,80	0,00	0,80	0,09	0,01
	Schw	-	0,00	-	0,13	-	0,13	-	0,60
6	N	0,03	0,08	0,39	0,39	0,59	0,59	0,48	0,00
	Schw	-	0,80	-	1,00	-	1,00	-	0,01
1	N	0,01	0,01	0,78	0,06	0,53	0,06	0,44	0,50
	Schw	-	0,98	-	0,06	-	0,03	-	0,26
2	N	0,00	0,00	0,41	0,54	0,41	0,11	0,11	0,23
	Schw	-	0,38	-	0,49	-	0,53	-	0,50
3	N	0,00	0,00	0,13	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00
	Schw	-	0,20	-	0,08	-	0,08	-	0,00
4	N	0,00	0,00	0,35	0,01	0,20	0,05	0,00	0,00
	Schw	-	0,70	-	0,02	-	0,01	-	0,11
5	N	0,71	0,93	0,37	0,08	0,37	0,02	0,44	0,00
	Schw	-	0,52	-	0,00	-	0,00	-	0,00
6	N	0,51	0,01	0,19	0,13	0,33	0,59	0,18	0,13
	Schw	-	0,08	-	0,11	-	0,06	-	0,66

sign = 0,1: es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen
 den Mittelwerten der Proben

Anlage 5.2

Prüfung der Unterschiede zwischen den Probearten "Normal", "Schwarten", "Spreiße" in bezug auf die Eigenschaft Fraktionsverteilung-Feucht mit Hilfe der Signifikanzniveaus des T- (T) und Wilcoxon- (Wi) 2-sample-Tests

Betr. Nr.	Prob. art	F1 ₁ (Wi)		F2 ₁ (T)		F3 ₁ (T)		F4 ₁ (T)		F5 ₁ (T)	
		Schw	Sp	Schw	Sp	Schw	Sp	Schw	Sp	Schw	Sp
1	N	0,52	0,85	0,32	0,64	0,43	0,62	0,11	0,80	0,01	0,59
	Schw	-	0,10	-	0,49	-	0,04	-	0,01	-	0,02
2	N	0,82	0,84	0,00	0,03	0,02	0,10	0,55	0,62	0,13	0,09
	Schw	-	0,65	-	0,32	-	0,45	-	0,90	-	0,44
4	N	0,01	0,70	0,02	0,86	0,01	0,41	0,02	0,07	0,49	0,40
	Schw	-	0,02	-	0,07	-	0,00	-	0,00	-	0,95
5	N	0,07	0,24	0,47	0,00	0,37	0,27	0,19	0,00	0,00	0,00
	Schw	-	0,00	-	0,16	-	0,10	-	0,00	-	0,00
6	N	1,00	0,85	0,90	0,30	0,00	0,00	0,00	0,14	0,06	0,07
	Schw	-	0,83	-	0,49	-	0,42	-	0,00	-	0,10
1	N	0,37	0,01	0,59	0,32	0,51	0,00	0,57	0,00	0,97	0,00
	Schw	-	0,14	-	0,10	-	0,00	-	0,00	-	0,00
2	N	0,80	0,07	0,11	0,10	0,08	0,28	0,30	0,20	0,99	0,31
	Schw	-	0,13	-	0,00	-	0,01	-	0,84	-	0,23
3	N	0,03	0,00	0,47	0,00	0,27	0,01	0,00	0,61	0,00	0,02
	Schw	-	0,00	-	0,10	-	0,06	-	0,00	-	0,38
4	N	0,8	0,00	0,00	0,36	0,28	0,81	0,87	0,00	0,36	0,11
	Schw	-	0,05	-	0,00	-	0,42	-	0,00	-	0,79
5	N	0,95	0,07	0,13	0,82	0,15	0,95	0,00	0,85	0,00	0,73
	Schw	-	0,39	-	0,07	-	0,17	-	0,00	-	0,00
6	N	0,39	0,80	0,25	0,43	0,10	0,65	0,00	0,57	0,00	0,21
	Schw	-	0,24	-	0,87	-	0,07	-	0,00	-	0,00

sign = 0,1: es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten der Proben

Prüfung der Unterschiede zwischen den Probearten "Normal", "Schwarten", "Spreiße" in bezug auf die Eigenschaft Fraktionsverteilung-Trocken mit Hilfe der Signifikanzniveaus des T- (T) und Wilcoxon- (Wi) 2-sample-Tests

Betr. Nr.	Prob. art	F _{1a} Schw	(Wi) Sp	F _{2a} Schw	(T) Sp	F _{3a} Schw	(T) Sp	F _{4a} Schw	(T) Sp	F _{5a} Schw	(T) Sp
1	N	0,14	0,89	0,33	0,71	0,58	0,74	0,18	0,96	0,14	0,90
	Schw	-	0,14	-	0,35	-	0,15	-	0,06	-	0,14
2	N	0,76	0,59	0,04	0,24	0,11	0,08	0,88	0,01	0,14	0,35
	Schw	-	0,59	-	0,46	-	0,58	-	0,02	-	0,09
4	N	0,01	0,66	0,02	0,96	0,12	0,36	0,04	0,03	0,33	0,26
	Schw	-	0,02	-	0,10	-	0,00	-	0,00	-	0,96
5	N	0,07	0,24	0,34	0,00	0,43	0,49	0,46	0,00	0,00	0,01
	Schw	-	0,00	-	0,31	-	0,23	-	0,00	-	0,01
6	N	0,95	0,63	0,96	0,29	0,01	0,00	0,00	0,05	0,01	0,09
	Schw	-	0,83	-	0,44	-	0,57	-	0,00	-	0,12
1	N	0,38	0,00	0,83	0,19	0,70	0,00	0,42	0,00	0,85	0,00
	Schw	-	0,14	-	0,13	-	0,00	-	0,00	-	0,00
2	N	0,80	0,24	0,20	0,05	0,17	0,17	0,58	0,24	0,75	0,23
	Schw	-	0,07	-	0,00	-	0,01	-	0,55	-	0,12
3	N	0,06	0,01	0,53	0,00	0,70	0,02	0,00	0,56	0,00	0,01
	Schw	-	0,00	-	0,14	-	0,07	-	0,00	-	0,14
4	N	0,05	0,00	0,00	0,46	0,20	0,49	0,68	0,00	0,33	0,03
	Schw	-	0,05	-	0,00	-	0,63	-	0,00	-	0,53
5	N	0,80	0,04	0,08	0,97	0,34	0,71	0,00	0,84	0,00	0,94
	Schw	-	0,59	-	0,07	-	0,20	-	0,00	-	0,00
6	N	0,39	0,80	0,25	0,53	0,03	0,52	0,00	0,48	0,00	0,11
	Schw	-	0,59	-	0,74	-	0,02	-	0,00	-	0,00

sign = 0,1: es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten der Proben

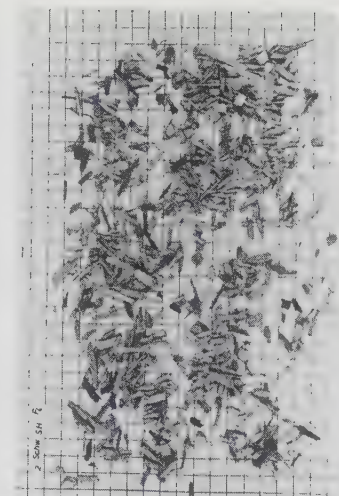
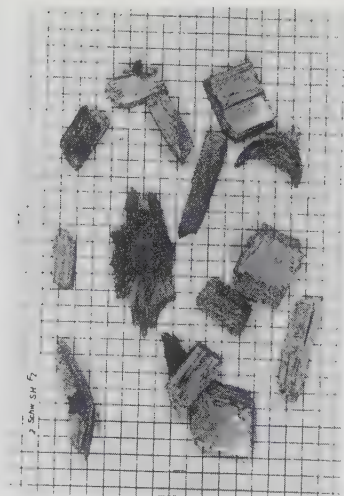
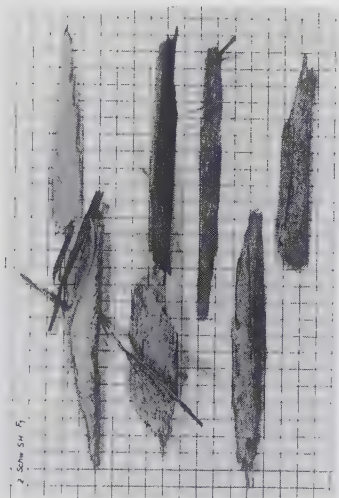
Mittelwerte und Streuungen der einzelnen Variablen in den Betriebstypen I - III und Prüfung auf signifikante Unterschiede - 1. Versuchsreihe

	I			II			III		
	$\bar{x}$ %	sign. Untersch. mit/zu	s %	$\bar{x}$ %	sign. Untersch. mit/zu	s %	$\bar{x}$ %	sign. Untersch. mit/zu	s %
F _u	45,62	III	11,88	44,13	III	13,33	51,78	I/ II	4,84
R1 _l	5,78	II/ III	5,10	0,15	III	0,28	0,24	I/ II	0,33
R1 _a	4,06	II/ III	3,77	0,15	-	0,26	0,18	I	0,25
WG _H	51,88	II/ III	4,39	59,89	-	4,07	59,65	I	3,33
F1 _l	1,74	III	1,52	1,48	III	1,82	0,02	I/ II	0,07
F2 _l	12,11	II/ III	5,25	5,51	III	3,37	1,57	I/ II	1,29
F3 _l	76,90	II/ III	5,33	83,20	III	4,63	93,73	I/ II	1,90
F4 _l	7,16	III	3,42	7,30	III	1,81	3,44	I/ II	1,11
F5 _l	2,09	II/ III	0,84	1,80	III	1,05	1,24	I/ II	0,50
F1 _a	1,94	III	1,51	1,52	III	1,89	0,03	I/ II	0,10
F2 _a	12,39	II/ III	5,05	6,77	III	3,40	1,78	I/ II	1,52
F3 _a	77,19	II/ III	5,33	82,60	III	4,76	93,34	I/ II	2,02
F4 _a	6,59	III	3,67	7,54	III	1,87	3,56	I/ II	1,13
F5 _a	1,88	II/ III	0,83	1,57	III	1,12	1,29	I/ II	0,49

Mittelwerte und Streuungen der einzelnen Variablen in den Betriebstypen I - III und Prüfung auf signifikante Unterschiede - 2. Versuchsreihe

	I			II			III		
	$\bar{x}$ %	sign. Untersch mit/zu	s %	$\bar{x}$ %	sign. Untersch mit/zu	s %	$\bar{x}$ %	sign. Untersch mit/zu	s %
F _u	49,25	II/ III	8,31	57,81	III	3,02	59,22	I/ II	3,67
R1 _l	7,54	II/ III	11,78	1,32	III	1,52	0,61	I/ II	0,77
R1 _a	6,11	II/ III	10,66	0,89	III	1,01	0,41	I/ II	0,55
WG _H	47,26	II/ III	5,91	58,10	III	3,06	55,38	I/ II	1,60
F1 _l	1,23	II/ III	1,26	1,74	III	2,05	0,04	I/ II	0,18
F2 _l	18,67	II/ III	8,42	8,24	III	3,12	3,38	I/ II	2,27
F3 _l	70,69	II/ III	8,82	81,06	III	4,93	91,24	I/ II	2,28
F4 _l	7,40	II/ III	2,47	7,01	III	1,82	4,06	I/ II	1,29
F5 _l	2,01	III	0,70	1,96	III	0,94	1,28	I/ II	0,52
F1 _a	1,28	II/ III	1,31	1,78	III	2,10	0,04	I/ II	0,19
F2 _a	19,30	II/ III	8,59	8,56	III	3,31	3,86	I/ II	2,67
F3 _a	70,20	II/ III	8,95	80,38	III	5,11	90,62	I/ II	2,59
F4 _a	7,28	III	2,34	7,26	III	1,90	4,20	I/ II	1,31
F5 _a	1,94	III	0,67	2,02	III	0,92	1,28	I/ II	0,53

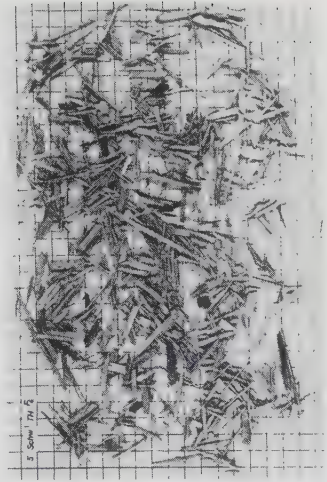
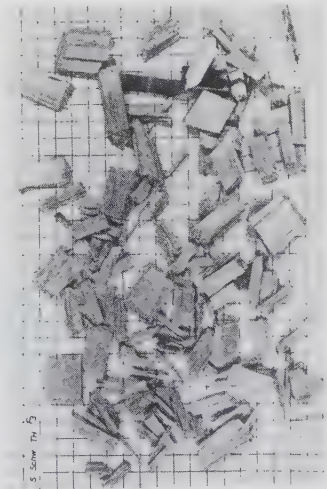
Scheithacker-Hackschnitzel aus waldentriindetem Holz (Betrieb 2)



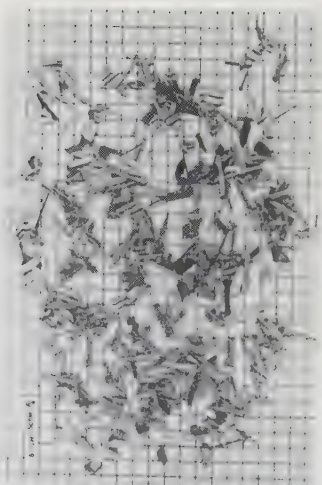
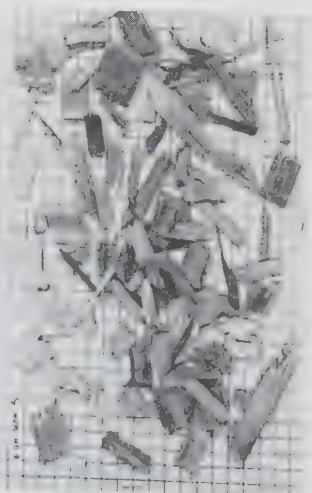
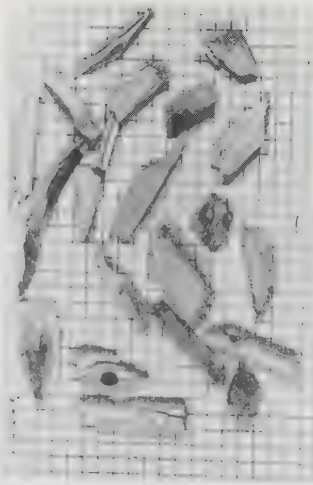
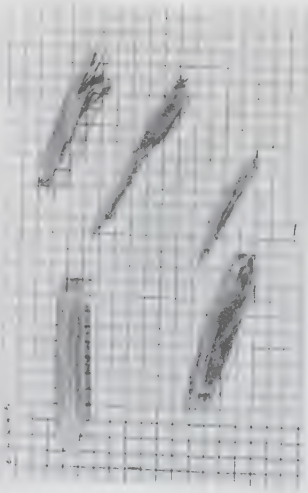
Trommelhacker-Hackschnitzel aus waldentrindetem Holz (Betrieb 3)



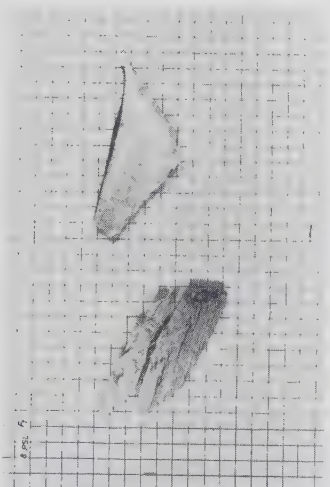
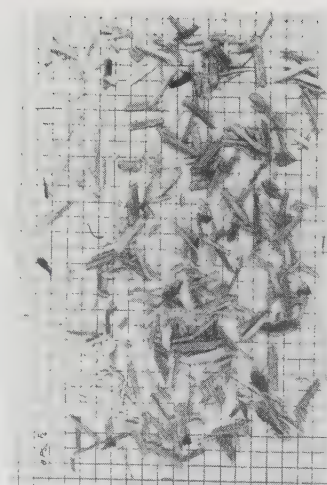
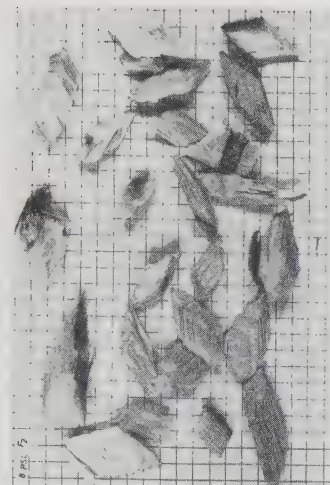
Trommelhacker-Hackschnitzel aus werksentrindetem Holz (Betrieb 5)



Scheibenhacker-Hackschnitzel aus werksentrintetem Holz (Betrieb 6)



Hackschnitzel, erzeugt mit einem LINCK-Profilspaner (Betrieb 8)



LEBENS LAUF

Name: Heinrich Behler
Geburtstag: 24. März 1947 Paderborn
Familienstand: verheiratet seit dem 24.08.1974
1 Kind

Schulbildung:

1953 - 1957 Volksschule Niesen Krs. Höxter
1957 - 1958 Realschule Peckelsheim Krs. Höxter
1958 - 1966 altspr. Gymnasium Kolleg St. Caspar,
Neuenheerse Krs. Höxter
17.10.1966 Abitur

Berufsausbildung:

Mai 1967 - Studium der Holzwirtschaft an der
Februar 1974 Universität Hamburg
11.02.1974 Examen als Diplom-Holzwirt

Berufliche Tätigkeiten:

Febr. - Aug. 1974 Wiss. Mitarbeiter in der Dokumentation
der Bundesforschungsanstalt für Forst-
und Holzwirtschaft, Hamburg
seit 01.10.1974 Wiss. Angestellter am Institut für
Forstbenutzung und Forstliche Arbeits-
wissenschaft der Universität Freiburg

Freiburg, 09.06.1980

Behler

